

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO (MP)
Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da
União (SPU)

METODOLOGIA DE CONVERSÃO DE
DADOS GEOESPACIAIS DA SPU
(CAPÍTULO GEORREFERENCIAMENTO)

(Versão 2.2 - Outubro 2019)

| HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES | | | | |
|--------------------------------|---------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Data | Versão | Descrição | Participante | Habilitação |
| Agosto 2015 | 1.0 | Elaboração da versão 1.0 | Tarcísio Petter Luiz Franco | Engenheiro Agrimensor |
| Outubro 2015 | 2.0 | Elaboração da versão 2.0 | Roberto Penido Duque Estrada | Engenheiro Cartógrafo |
| | | | Tarcísio Petter Luiz Franco | Engenheiro Agrimensor |
| Janeiro 2018 | 2.1 | Revisão da versão 2.0 | Roberto Penido Duque Estrada | Engenheiro Cartógrafo |
| | | | Tarcísio Petter Luiz Franco | Engenheiro Agrimensor |
| Setembro 2019 | 2.2 | Revisão da versão 2.1 | Carla B. Madureira Cruz | Engenheiro Cartógrafo |
| | | | Rafael Silva de Barros | Engenheiro Cartógrafo |
| | | | Ícaro Azevedo da Silva | Geógrafo |
| | | | Raphael Coelho | Geógrafo |

Sumário

| | |
|---|-----------|
| I – Introdução | 3 |
| II – Objetivo | 4 |
| III - Georreferenciamento | 4 |
| 1. Introdução | 4 |
| 2. Diretório de Armazenamento | 5 |
| 3. Pessoal | 8 |
| 4. Preparo | 8 |
| 5. Parâmetros do Georreferenciamento | 8 |
| 5.1 Transformação Geométrica e Reamostragem | 9 |
| 5.2 Pontos de Controle | 11 |
| 5.3 Erro Médio Pontos de Controle | 13 |
| 5.4 Pontos de Verificação | 1 |
| 5.5 RMS – Pontos de Verificação | 17 |
| 6. Edição Matricial | 19 |
| 7. Revisão | 20 |
| 8. Relatório | 20 |
| IV - Referências Bibliográficas | 24 |

I – Introdução

A Metodologia de Conversão de Dados Geoespaciais da SPU prevê as seguintes fases:

- a. Digitalização Matricial;
- b. Georreferenciamento;
- c. Digitalização Vetorial (Vetorização);
- d. Validação Topológica; e
- e. Edição.

O presente capítulo da Metodologia de Conversão de Dados Geoespaciais da SPU aborda a segunda fase da conversão de dados geoespaciais: Georreferenciamento.

II – Objetivo

Descrever os procedimentos necessários ao georreferenciamento de arquivos digitais matriciais gerados na digitalização matricial (*scanner*) de produtos analógicos geoespaciais da SPU.

III - Georreferenciamento

1. Introdução

A imagem (matriz) gerada na digitalização matricial de um produto analógico geoespacial possui coordenadas relacionadas à matriz formada por linhas e colunas, cujas interseções definem as posições dos *pixels* da matriz, por meio de suas coordenadas matriciais (X_p – Coluna, Y_p – Linha). Ressalta-se a importância de uma correta digitalização matricial, para que não ocorram distorções na geometria interna da imagem e, conseqüentemente, erros nas coordenadas matriciais.

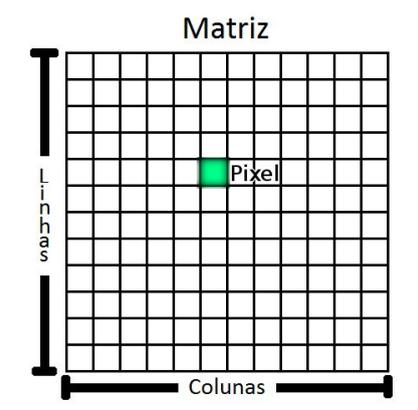


Figura 1: Imagem (Matriz)

Fonte (adaptado): http://docs.qgis.org/2.0/pt_BR/_images/raster_dataset.png

O georreferenciamento é um procedimento, realizado, normalmente, em um *software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG), que visa posicionar corretamente a imagem do arquivo digital matricial em relação ao espaço geográfico, tornando suas coordenadas relacionadas a um *datum* e projeção conhecidos. Para tal, deve ser definida a transformação matemática entre o sistema de coordenadas da imagem e o sistema de coordenadas do produto analógico geoespacial, possibilitando a leitura das coordenadas georreferenciadas dos *pixels* da imagem.

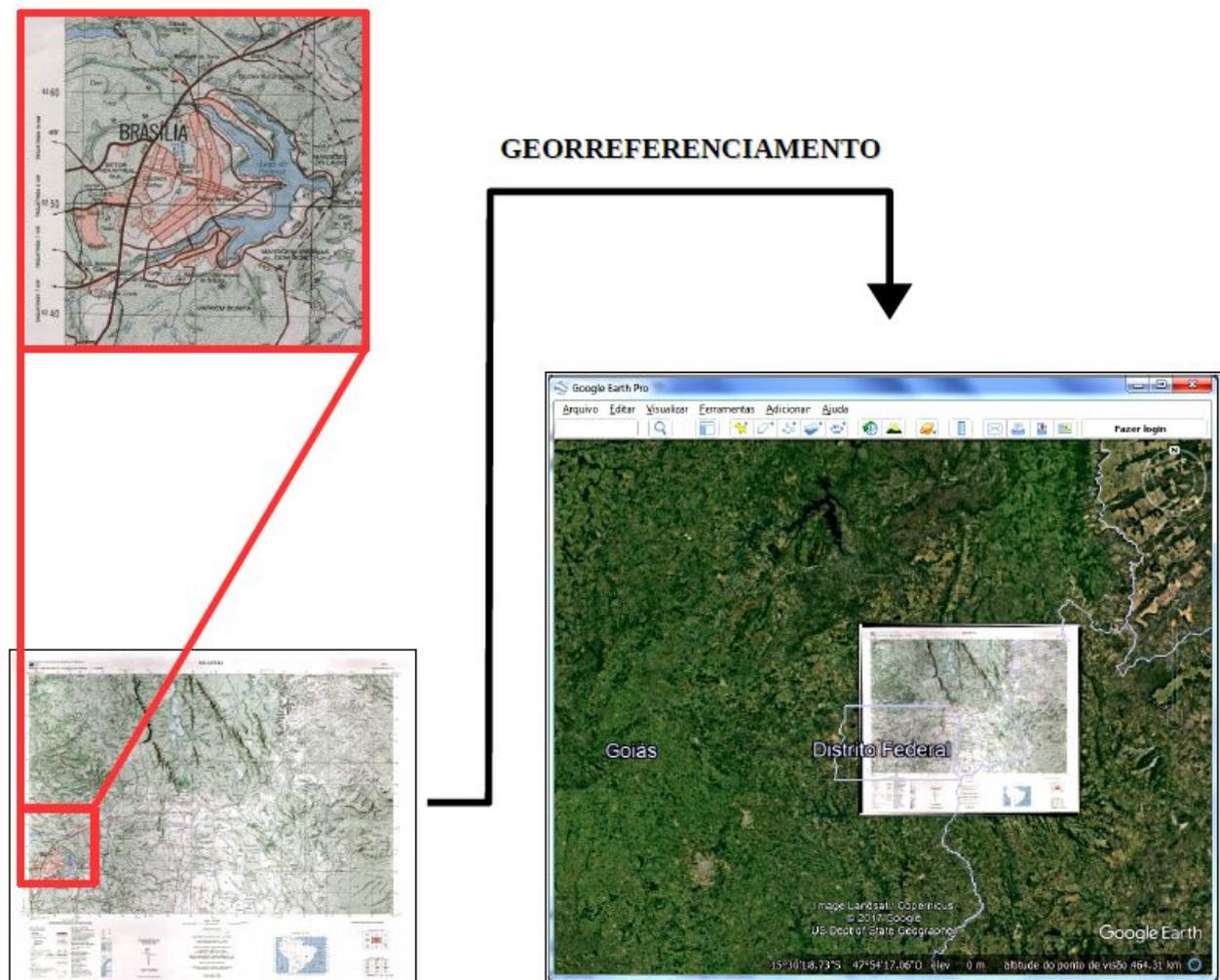


Figura 2: Georreferenciamento de Imagem de Produto Analógico Geoespacial
 Fonte: Carta Topográfica Brasília (SD-23-Y-C) 1:250.000 do IBGE
 Fonte: Google Earth

A presente metodologia pressupõe:

- A existência de uma moldura e um *grid/canevá* de coordenadas planas/projetivas no produto analógico geoespacial, cujo sistema de coordenadas esteja relacionado a um *datum* e projeção conhecidos; e
- A digitalização matricial do produto analógico geoespacial aprovada, conforme informação constante do relatório de digitalização matricial.

2. Diretório de Armazenamento

Para o armazenamento dos arquivos digitais relacionados ao georreferenciamento da imagem gerada na digitalização matricial do produto analógico geoespacial, deve ser criado no computador, dentro da pasta “TítuloProdutoCDG” (Localizada 1 nível abaixo do 8º Diretório intitulado “Matricial”), da estrutura padrão de diretórios da SPU, o seguinte diretório: “Georreferenciamento” (10º Diretório de armazenamento):.

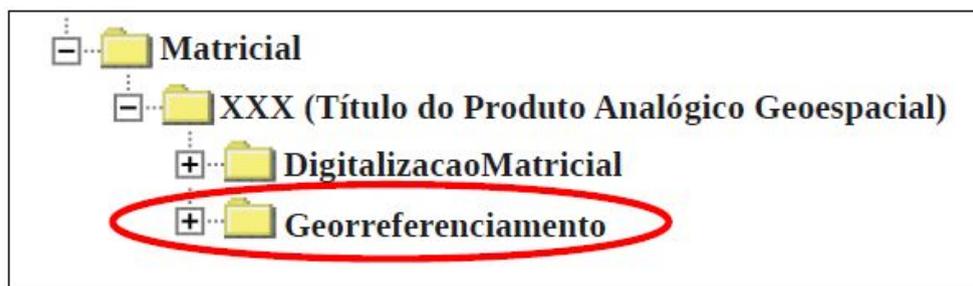


Figura 3: Diretório de Armazenamento

Os arquivos que devem ser colocados dentro destas pastas são:

- Imagem a ser georreferenciada destinada ao preparo;
- Imagem georreferenciada;
- Imagem georreferenciada recortada das informações adicionais;
- Arquivo de pontos de controle (gerado pelo *software* utilizado no georreferenciamento) (Salvar em uma subpasta chamada “PONTOS”);
- Planilha de Indicadores do Georreferenciamento “Título do Produto Analógico.ods”;
- Relatório do georreferenciamento;
- O arquivo shapefile utilizado para o corte da “Imagem georreferenciada recortada das informações adicionais” . (Salvar em uma subpasta chamada “SHP”);

Os nomes dos arquivos colocados na pasta “Georreferenciamento” devem ser formados pelo prefixo “Título do Produto Analógico Geoespacial” acrescido do sufixo específico para cada tipo de arquivo. Seguindo o padrão apresentado abaixo:

Título do Produto Analógico_Geoespacial_Preparo.jpg

-

Título do Produto Analógico_Geoespacial_Geo_P1.tif

-

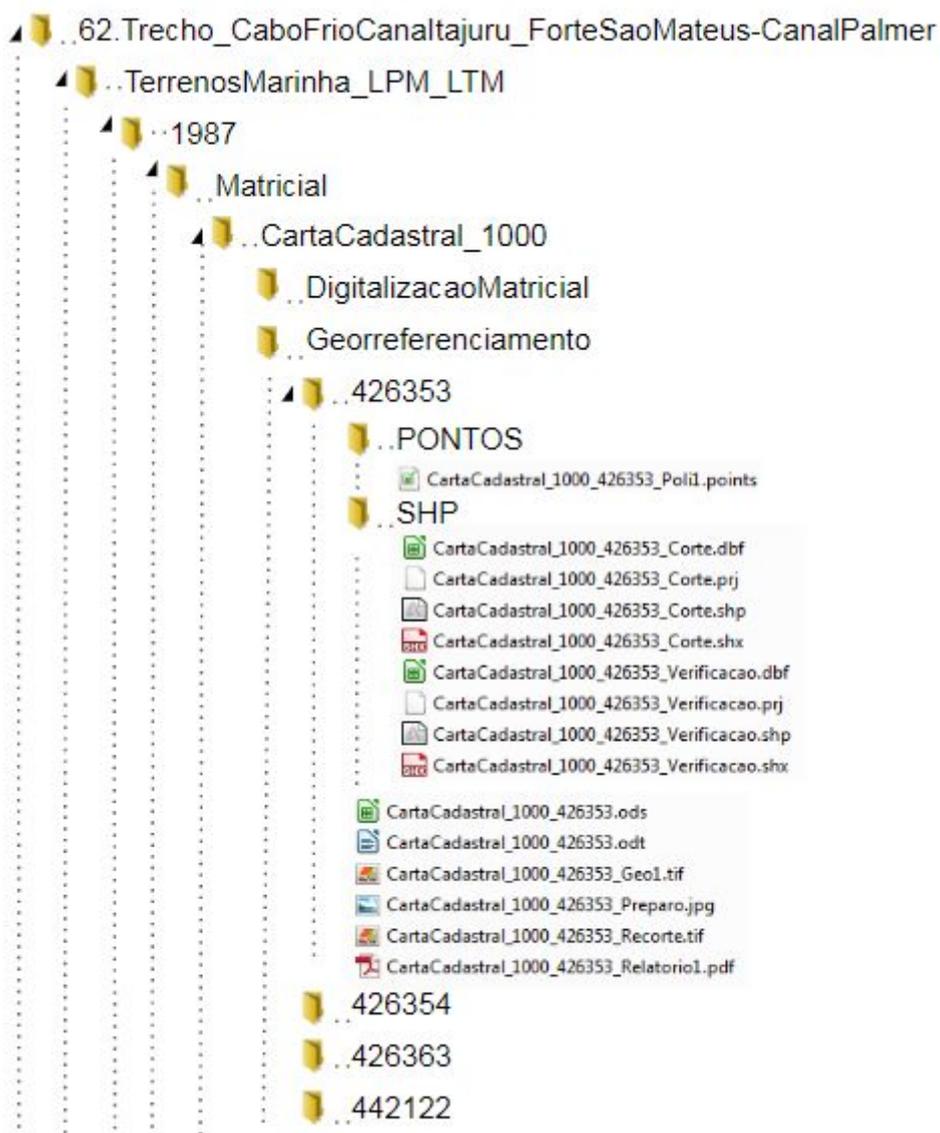
Título do Produto Analógico Geoespacial_Recorte_P1.tif

Título do Produto Analógico Geoespacial_P1.points

Título do Produto Analógico Geoespacial_Corte_P1.shp

Título do Produto Analógico Geoespacial_Verificacao_P1.points

Obs: Caso seja necessário usar o polinômio do segundo grau, os arquivos finais deverão receber o sufixo “P2” no lugar de “P1”



O referido diretório deve ser criado também em outro local (computador/rede/mídia móvel), para fins de armazenamento de cópia de segurança (*backup*) dos arquivos digitais. O local do *backup* deve ser informado no relatório anexo.

3. Pessoal

A equipe para a fase de Georreferenciamento deve ser composta por:

| Qd e | Formação Desejável | Atividade | Atribuição |
|-------------|--|---------------------------|--|
| 01 | Geógrafo / Eng ^o Cartógrafo / Eng ^o Agrimensor | Supervisão ⁽¹⁾ | Supervisionar as atividades da fase de Georreferenciamento (responsável técnico) |
| 01 | Técnico em Geoprocessamento | Preparo ⁽²⁾ | Preparar a imagem a ser georreferenciada |
| 01 | Técnico em Geoprocessamento | Georreferenciamento | Georreferenciar a imagem de acordo com o preparo |
| 01 | Técnico em Geoprocessamento | Revisão ⁽²⁾ | Revisar o georreferenciamento e consolidar o relatório |

Observações:

- (1): A atividade de supervisão pode ser realizada pelo mesmo profissional responsável pela supervisão das demais fases da conversão de dados geoespaciais da SPU (Digitalização Matricial, Digitalização Vetorial (Vetorização), Validação Topológica e Edição); e
- (2): As atividades de preparo e revisão podem ser realizadas pelo mesmo profissional, o qual deve ser experiente na fase de Georreferenciamento.

4. Preparo

O preparo do georreferenciamento deve ser realizado por técnico diferente do responsável pela atividade do georreferenciamento e tem por objetivo identificar previamente os pontos de controle e de verificação, conforme o previsto nos itens 5.2 e 5.4.

A imagem destinada ao preparo deve ser uma cópia da imagem gerada na digitalização matricial do produto analógico geoespacial, degradada para a resolução de 300 dpi e convertida para o formato "Joint Photographic Experts Group" (JPEG).

A identificação prévia dos pontos de controle e de verificação na imagem destinada ao preparo (diferente da imagem a ser georreferenciada) deve ser realizada em um software com ferramentas de edição matricial, assinalando-se os cruzamentos do grid/canevá na imagem correspondentes aos pontos de controle com um círculo e número na cor vermelha e aos pontos de verificação com um círculo e número na cor verde, conforme as Figuras 6, 7 e 9. Os pontos de controle devem ser identificados antes dos pontos de verificação.

A posterior medição dos pontos de controle e de verificação na imagem a ser georreferenciada deve ser realizada, pelo técnico responsável pela atividade do georreferenciamento, de acordo com o preparo.

5. Parâmetros do Georreferenciamento

5.1 Transformação Geométrica e Reamostragem

De uma maneira geral, o processo de georreferenciamento ou de registro de uma imagem compreende três grandes etapas. Começa-se, na primeira etapa do georreferenciamento, com uma transformação geométrica, também denominada mapeamento direto, que estabelece uma relação entre as coordenadas de imagem (linha e coluna) e as coordenadas no sistema de referência (geográficas ou de projeção). Nesta primeira etapa é que se eliminam as distorções existentes na imagem e se define o espaço geográfico a ser ocupado pela imagem georreferenciada.

As transformações geométricas se dividem em:

- **ortogonal:** executa uma rotação e duas translações, cada uma correspondente a um dos eixos de um sistema de coordenadas planas. A determinação de seus 03 (três) parâmetros requer uma quantidade mínima de 02 (dois) pontos de controle;
- **similaridade:** também conhecida como transformação isogonal, executa um fator de escala global, uma rotação e duas translações. A determinação de seus 04 (quatro) parâmetros também requer uma quantidade mínima de 02 (dois) pontos de controle;
- **afim ortogonal:** executa dois fatores de escala, cada um ao longo da direção de um dos eixos de um sistema de coordenadas planas, uma rotação e duas translações. A determinação de seus 05 (cinco) parâmetros requer uma quantidade mínima de 03 (três) pontos de controle;
- **afim:** executa dois fatores de escala, uma rotação, duas translações e uma rotação residual, que é responsável pela quebra da ortogonalidade. A transformação afim corresponde a um polinômio do 1º grau e a determinação de seus 06 (seis) parâmetros também requer uma quantidade mínima de 03 (três) pontos de controle; e
- **transformações polinomiais:** executam dois fatores de escala, uma rotação, duas translações, uma rotação residual e quebra de paralelismo. As transformações polinomiais correspondem a um polinômio do 2º grau em diante e a determinação de seus mais de 06 (seis) parâmetros requer uma quantidade mínima de pontos de controle (N_{pc}) que depende do grau do polinômio (n), conforme a fórmula $N_{pc} = [(n+1)(n+2)]/2$. A determinação dos 12 (doze) parâmetros do polinômio do 2º grau, por exemplo, requer uma quantidade mínima de 06 (seis) pontos de controle. A Figura 4 ilustra as mencionadas transformações geométricas.

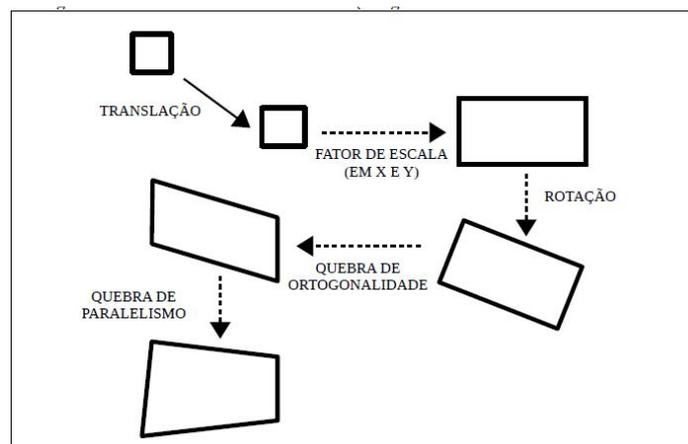


Figura 4: Transformações Geométricas

Fonte (adaptado): <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf>

A quantidade mínima de pontos de controle, os quais possuem simultaneamente coordenadas de imagem (linha e coluna) e coordenadas no sistema de referência (geográficas ou de projeção), representa a situação de um sistema de equações determinado, no qual a quantidade de equações coincide com a quantidade de incógnitas a calcular (quantidade de parâmetros do polinômio). Entretanto, como as coordenadas medidas dos pontos de controle estão sujeitas a erros, convém usar uma quantidade de pontos maior que o mínimo. Nesse caso, trabalha-se com um sistema de equações sobre-determinado, que tem mais equações que incógnitas e permite tratar e distribuir os erros de medição dos pontos de controle.

Na segunda etapa do georreferenciamento faz-se o mapeamento inverso, que inverte a transformação geométrica usada no mapeamento direto, permitindo que se retorne à imagem original para que se definam os níveis de cinza que comporão a imagem georreferenciada. Esta definição de níveis de cinza ocorre na última etapa, chamada de reamostragem, que nada mais é que uma interpolação sobre os valores de níveis de cinza da imagem original para definir os valores de nível de cinza que comporão a imagem georreferenciada.

Os métodos mais tradicionais de reamostragem são:

- **vizinho mais próximo:** usa o nível de cinza mais próximo ao resultado do mapeamento inverso;
- **bilinear:** usa 03 (três) interpolações lineares sobre os 04 (quatro) pixels que cercam o resultado do mapeamento inverso, 02 (duas) ao longo das linhas e 01 (uma) na direção das colunas; e
- **convolução cúbica:** usa 05 (cinco) interpolações polinomiais do terceiro grau sobre os 16 (dezesesseis) pixels que cercam o resultado do mapeamento inverso, 04 (quatro) ao longo das linhas e a quinta na direção das colunas.

Conforme o exemplo da Figura 5, a imagem original encontra-se com seu *grid* de *pixels* em vermelho-escuro. Já a nova imagem (georreferenciada) encontra-se representada através do *grid* de *pixels* em azul-marinho sobreposto. Neste exemplo, vê-se que o *pixel* destacado na imagem original (coluna 430, linha 289) deve influenciar radiometricamente ao menos outros 04 (quatro) *pixels* da imagem georreferenciada (colunas 427 e 428 e linhas 288 e 289). A reamostragem, neste caso, faz-se necessária para que os novos pixels tenham a cor que deveriam ter por estarem em tal posição.

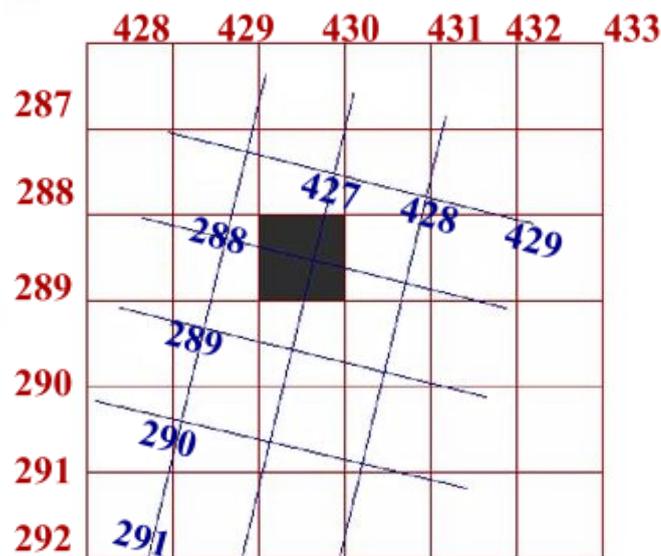


Figura 5: Reamostragem

Fonte (adaptado): <http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/imagem32.JPG>

No georreferenciamento da imagem gerada na digitalização do produto analógico geoespacial, devem ser usadas:

- As transformações geométricas correspondentes aos polinômios do 1º grau **ou** do 2º grau; e
- O método de reamostragem “vizinho mais próximo”.

5.2 Pontos de Controle

A qualidade do georreferenciamento por meio das transformações geométricas correspondentes aos polinômios do 1º grau ou do 2º grau depende, além da precisão das coordenadas dos pontos de controle, de uma boa distribuição dos mesmos na imagem, pois essas transformações geométricas tendem a se comportar adequadamente apenas na região onde se encontram os pontos de controle.

Considerando-se a adoção do referido sistema de equações sobre-determinado, ou seja, uma quantidade de pontos de controle maior que a quantidade mínima, devem ser selecionadas no georreferenciamento da imagem as seguintes quantidades de pontos de controle:

- polinômio do 1º grau (afim): 09 (nove) pontos de controle; e, quando necessário
- polinômio do 2º grau: 13 (treze) pontos de controle.

As Figuras 6 e 7 ilustram a quantidade e a distribuição de pontos de controle no *grid/canevá* da imagem, para o polinômio do 1º grau e o polinômio do 2º grau, respectivamente.

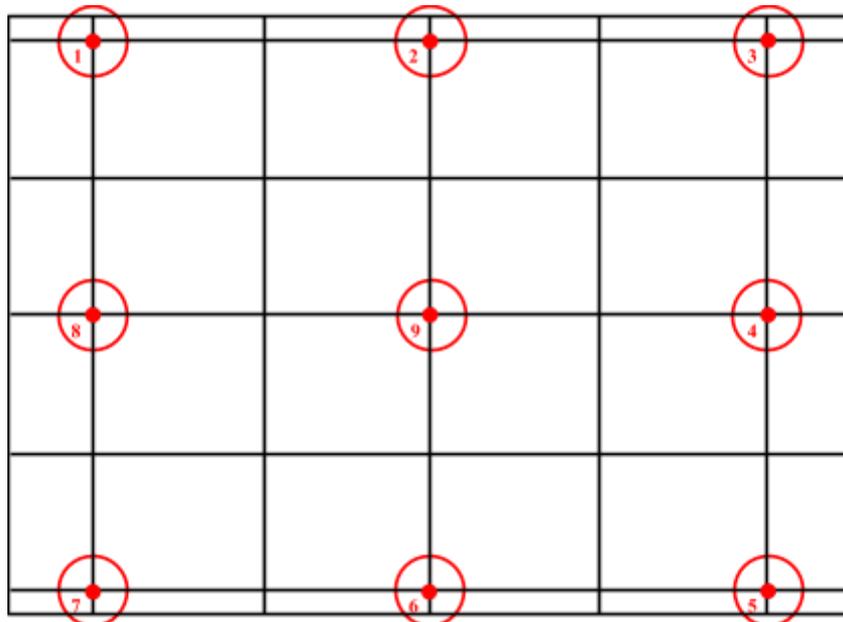


Figura 6: Quantidade e Distribuição de Pontos de Controle (Polinômio do 1º grau - Afim)

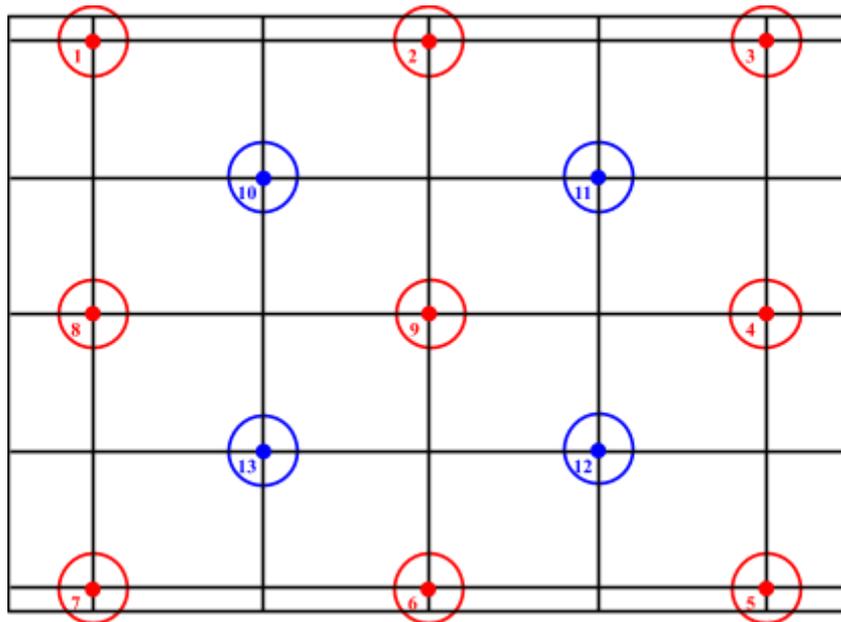


Figura 7: Quantidade e Distribuição de Pontos de Controle (Polinômio do 2º grau)

Os pontos 1, 3, 5 e 7 nas Figuras 6 e 7 devem ser os pontos mais externos do *grid/canevá* e mais próximos dos cantos da moldura.

Os pontos 2, 4, 6 e 8 nas Figuras 6 e 7 devem ser os pontos mais externos do *grid/canevá* e mais próximos da moldura (pontos 2 e 6 o mais próximo possível da linha vertical média da largura da moldura e pontos 4 e 8 o mais próximo possível da linha horizontal média do comprimento da moldura).

O ponto 9 nas Figuras 6 e 7 deve ser o ponto o mais próximo possível do centro da moldura (interseção da linha vertical média da largura da moldura e da linha horizontal média do comprimento da moldura).

Os pontos 10, 11, 12 e 13 na Figura 7 devem ser os pontos mais internos e afastados da moldura (pontos 10 e 11 alinhados e o mais próximo possível da meia distância entre a moldura superior e a linha horizontal média do comprimento da moldura e pontos 12 e 13 alinhados e o mais próximo possível da meia distância entre a moldura inferior e a linha horizontal média do comprimento da moldura).

Para o georreferenciamento da imagem, primeiro deve ser realizado o georreferenciamento com 09 (nove) pontos (polinômio do 1º grau – afim). Caso o produto não seja aprovado com a utilização do polinômio de 1º grau, devem ser indicados os 4 pontos adicionais e realizado o georreferenciamento com polinômio do 2º grau utilizando os 13 pontos. Observando-se que os 09 (nove) primeiros pontos são os mesmos do georreferenciamento com o polinômio do 1º grau.

Caso não seja possível selecionar as mencionadas quantidades de pontos de controle no *grid/canevá* da imagem, deve ser selecionada a maior quantidade possível de pontos observando que para o georreferenciamento com polinômio do 1º grau (afim), a quantidade mínima de pontos de controle é 03 (três) e para o georreferenciamento com polinômio do 2º grau, a quantidade mínima de pontos de controle é 06 (seis). Nesse caso deve ser mantido o critério de uma boa distribuição dos pontos na imagem, adaptando-se a quantidade e a distribuição dos pontos apresentadas nas Figuras 6 e 7.

A medição dos pontos de controle nos cruzamentos do *grid/canevá* deve ser realizada com um *zoom* mínimo na imagem que permita selecionar os pontos com a maior precisão possível. O apontamento com o cursor do *mouse*, para a seleção do ponto de controle, deve ser realizado no ponto médio das espessuras das linhas horizontal e vertical que se interceptam no cruzamento do

grid/canevá.

O *zoom* mínimo na imagem para a seleção dos pontos de controle é atingido, normalmente, quando se torna possível ver os *pixels* da imagem, permitindo contar os *pixels* e identificar o mais ao centro. No exemplo da Figura 8 (*zoom* na escala 1:10), no cruzamento do *grid/canevá* podem ser contados 12 linhas x 9 colunas, o que permite identificar o píxel central entre as linhas 6 e 7 e no centro da coluna 5.

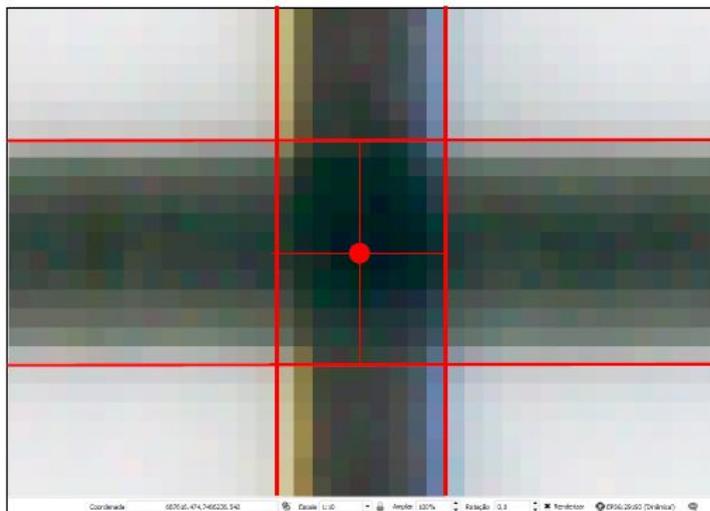


Figura 8: Zoom Mínimo na Imagem (Seleção dos Pontos de Controle)

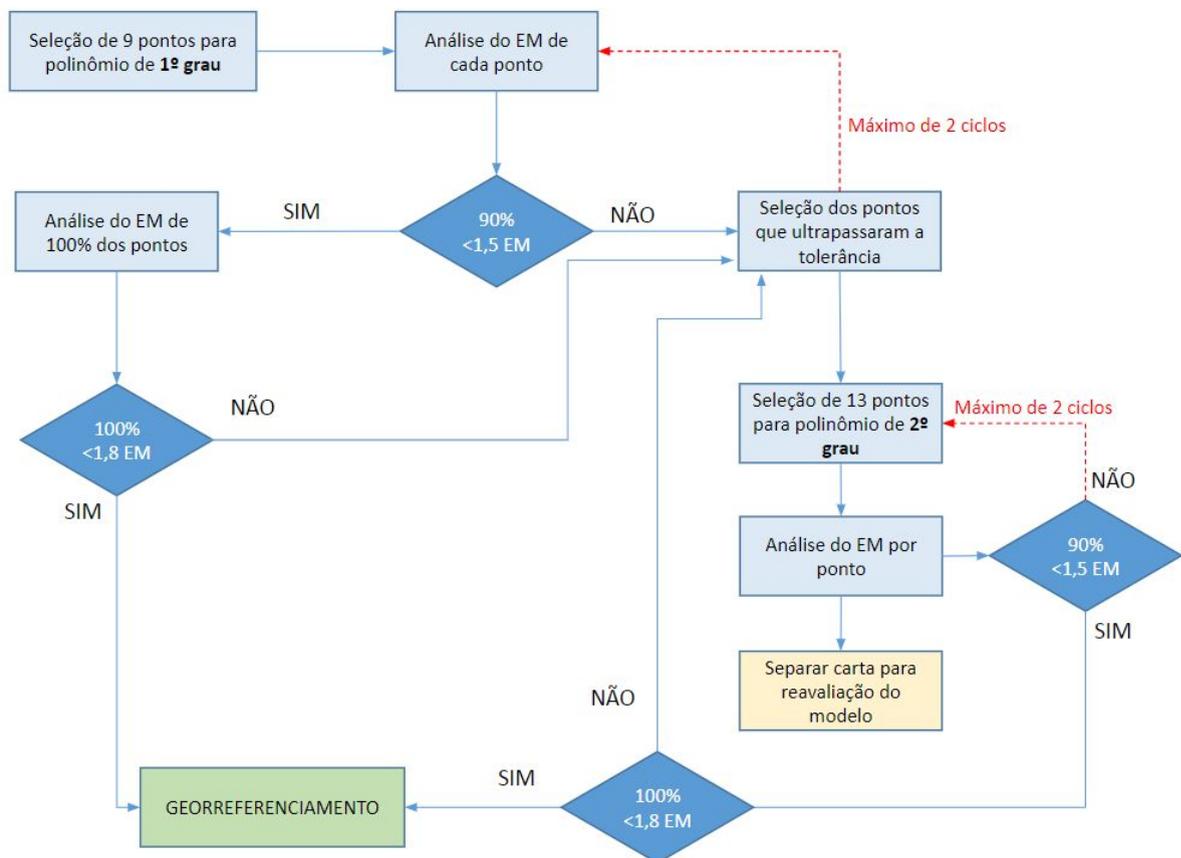
A qualidade da medição dos pontos de controle na imagem influi diretamente na qualidade do georreferenciamento dada pelo parâmetro RMS dos pontos de controle.

5.3 Erro Médio | Pontos de Controle

O georreferenciamento deverá ser feito usando o software Quantum GIS - QGIS, que utiliza como indicador de qualidade do georreferenciamento o Erro Médio (EM). Este indicador é calculado automaticamente pelo software e representa a raiz quadrada da soma dos erros de todos os pontos. Ao final do georreferenciamento de cada carta, o QGIS irá gerar um relatório com o resíduo de cada ponto de controle e o erro médio do produto cartográfico.

Inicialmente devem ser selecionados os 9 pontos de controle para a realização do georreferenciamento usando polinômio de 1º grau. Para a verificação da qualidade do georreferenciamento, dada pelo EM dos pontos de controle, primeiro devem ser analisados os resíduos dos mesmos, cujos valores não podem ultrapassar 1,5 vezes o valor do EM para 90% dos pontos avaliados e 1,8 vezes o valor do EM para 100% dos pontos. Caso o resíduo ultrapasse o referido limite, o ponto de controle deve ser medido novamente, refinando-se a posição do ponto na imagem e após novo processamento e cálculo do EM, caso o resíduo continue ultrapassando o referido limite, o ponto de controle deve ser descartado, escolhendo-se, se possível, outro ponto na imagem próximo à localização do ponto descartado. Este processo pode ser repetido por até 2 ciclos.

Caso os erros continuem acima da tolerância, deve ser feita a seleção de outros 4 pontos (totalizando 13 Pontos de Controle) para utilização de um polinômio de 2º grau. Feito o novo georreferenciamento, verifica-se as tolerâncias como mencionado anteriormente. Caso os resultados fiquem acima das tolerâncias, deve ser repetido o ajuste dos pontos por até 2 ciclos. Ainda assim, caso os resultados não sejam aprovados nos limiares estabelecidos, a carta deve ser separada para análise.



A figura 9, a seguir, apresenta os valores de Tolerância e Erro Padrão presentes na Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (ET-ADGV-Defesa F Ter), 2ª Edição-2016. Estes valores são referências importantes para avaliação da exatidão geométrica das cartas e produtos cartográficos digitais. Deve-se ressaltar que a maioria das cartas analógicas não têm indicação de qual é a sua classificação na PEC-PCD, ou seja, não podem ser classificadas como PEC A, B ou C.

| PEC (1) | PEC - PCD | 1:1.000 | | 1:2.000 | | 1:5.000 | | 1:10.000 | | 1:25.000 | | 1:50.000 | | 1:100.000 | | 1:250.000 | |
|------------|------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| | | PEC (m) | EP (m) |
| - | A ⁽²⁾ | 0,28 | 0,17 | 0,56 | 0,34 | 1,40 | 0,85 | 2,80 | 1,70 | 7,00 | 4,25 | 14,00 | 8,51 | 28,00 | 17,02 | 70,00 | 42,55 |
| A | B ⁽¹⁾ | 0,50 | 0,30 | 1,00 | 0,60 | 2,50 | 1,50 | 5,00 | 3,00 | 12,50 | 7,50 | 25,00 | 15,00 | 50,00 | 30,00 | 125,00 | 75,00 |
| B | C ⁽¹⁾ | 0,80 | 0,50 | 1,60 | 1,00 | 4,00 | 2,50 | 8,00 | 5,00 | 20,00 | 12,50 | 40,00 | 25,00 | 80,00 | 50,00 | 200,00 | 125,00 |
| C | D ⁽¹⁾ | 1,00 | 0,60 | 2,00 | 1,20 | 5,00 | 3,00 | 10,00 | 6,00 | 25,00 | 15,00 | 50,00 | 30,00 | 100,00 | 60,00 | 250,00 | 150,00 |

Quadro 1 – Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais

Figura 9: PEC e PEC-PCD

Fonte: ET-ADGV-Defesa F Ter

O valor de Tolerância a ser usado como referência não pode ser mais rigoroso do que o esperado para o produto cartográfico original - em meio analógico - que está sendo georreferenciado, em sua versão digital. Considerando este pressuposto, propõe-se o Quadro 2, a seguir, com valores de acordo com o PEC-PCD, acrescidos de uma maior tolerância sugerida para cada escala, para fins deste projeto (Tolerância SPU). Os valores de tolerância devem ser escolhidos em função do tipo de produto que está sendo georreferenciado, bem como de suas características originais. Uma tipologia dos produtos da SPU está sendo elaborada para que as condições originais da carta possam ser analisadas frente à qualificação da mesma.

Quadro 2: Tolerâncias para as escalas mais comuns

| Abordagens / Escalas | | | 1:500 | | 1:1.000 | | 1:2.000 | | 1:5.000 | | 1:10.000 | |
|----------------------|---------|-----|-------|------|---------|------|---------|------|---------|------|----------|------|
| PEC | PEC-PCD | SPU | Tol. | DP | Tol. | DP | Tol. | DP | Tol. | DP | Tol. | DP |
| | A | - | 0,14 | 0,09 | 0,28 | 0,17 | 0,56 | 0,34 | 1,40 | 0,85 | 2,80 | 1,70 |
| A | B | 1 | 0,25 | 0,15 | 0,50 | 0,30 | 1,00 | 0,60 | 2,50 | 1,50 | 5,00 | 3,00 |
| B | C | 2 | 0,40 | 0,25 | 0,80 | 0,50 | 1,60 | 1,00 | 4,00 | 2,50 | 8,00 | 5,00 |
| C | D | 3 | 0,50 | 0,30 | 1,00 | 0,60 | 2,00 | 1,20 | 5,00 | 3,00 | 10,00 | 6,00 |
| | | 4 | 0,60 | 0,36 | 1,20 | 0,72 | 2,40 | 1,44 | 6,00 | 3,60 | 12,00 | 7,20 |

Caso a tolerância para o EM não seja atingida, de acordo com os valores previstos na tabela acima, o georreferenciamento deve ser refeito refinando-se as posições dos pontos de controle na imagem e após novo processamento do georreferenciamento, caso o EM continue ultrapassando a tolerância, o georreferenciamento pode ser refeito, a critério do operador, com uma quantidade maior de pontos de controle, particularmente com o processamento do georreferenciamento com polinômio do 2º grau (ex: 17 (dezesete) pontos de controle) e, caso o EM continue ultrapassando a tolerância, o georreferenciamento não deve mais ser refeito e essa situação deve ser informada no relatório anexo.

A seguir um exemplo de georreferenciamento e cálculo da tolerância, relativos ao georreferenciamento de uma imagem gerada na digitalização matricial de uma carta cadastral:

| PRODUTO ANALÓGICO | NOME | FERNANDO DE NORONHA | |
|--|------------------|---------------------|--|
| | ESCALA | 1:10.000 | |
| PEC _A (metros) | 5,00 | | |
| PEC _B (metros) | 8,00 | | |
| PEC _C (metros) | 10,00 | | |
| EM (metros) (polinômio do 1º grau (afim) - 09 pontos de controle) | 1,21 | EM (final) | |
| Tol (metros) | 5 a 10m | | |
| Análise | EM (final) < Tol | | |

5.4 Pontos de Verificação

A verificação da qualidade do georreferenciamento da imagem por meio dos pontos de verificação só deve ser realizada no caso do georreferenciamento ter atingido a tolerância para o EM dos pontos de controle.

Os pontos de verificação são pontos diferentes dos pontos de controle e são utilizados para a verificação da qualidade do georreferenciamento da imagem. Assim como os pontos de controle, os pontos de verificação também devem ter uma boa distribuição na imagem, a fim de se verificar a qualidade do georreferenciamento na imagem como um todo.

Para a verificação da qualidade do georreferenciamento da imagem devem ser selecionados 10 (dez) pontos de verificação, conforme os pontos destacados na cor verde na Figura 10 (pontos de controle destacados na cor vermelha e azul).

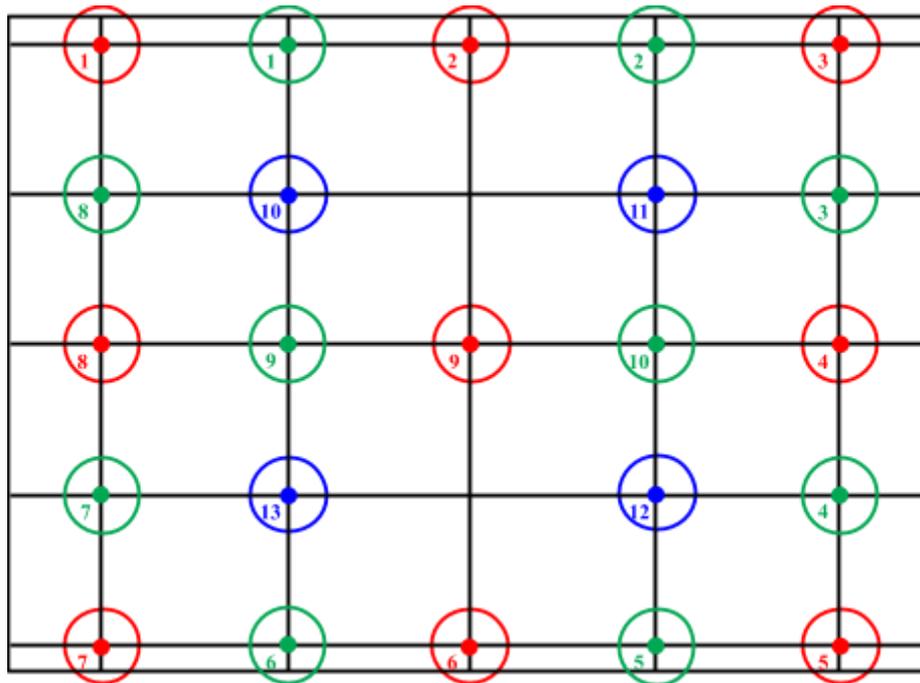


Figura 10: Quantidade e Distribuição de Pontos de Verificação (Destacados em Verde)

Os pontos de verificação 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 na Figura 10 devem ser os pontos mais externos do *grid/canevá* e mais próximos da moldura, alinhados e intercalados o mais próximo possível das meias distâncias entre os pontos de controle 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

Os pontos de verificação 9 e 10 na Figura 10 devem ser o mais próximo possível da linha horizontal média do comprimento da moldura, alinhados e intercalados o mais próximo possível das meias distâncias entre os pontos de controle 4, 8 e 9.

Caso não seja possível selecionar a mencionada quantidade de pontos de verificação no *grid/canevá* da imagem, deve ser selecionada a maior quantidade possível de pontos. Nesse caso deve ser mantido o critério de uma boa distribuição dos pontos na imagem, adaptando-se a quantidade e a distribuição dos pontos apresentadas na Figura 10.

A medição dos pontos de verificação nos cruzamentos do *grid/canevá* deve ser realizada com o mesmo critério utilizado na medição dos pontos de controle.

A qualidade da medição dos pontos de verificação na imagem influi diretamente na verificação da qualidade do georreferenciamento dada pelo parâmetro RMS dos pontos de verificação.

5.5 ERRO MÉDIO – Pontos de Verificação

A tolerância aceita na avaliação dos pontos de verificação pode ser até 20% maior do que a tolerância utilizada para a análise do georreferenciamento. Essa ampliação é importante pois o EM, assim como o RMS, costuma ser um estimador que minimiza a indicação de falhas na correção geométrica.

A avaliação com os pontos de verificação deve ser feita utilizando a abordagem do PEC, com a tolerância acrescida em 20%. Assim, os resultados encontrados nas diferenças de posicionamento planimétrico (erro) dos 10 pontos de verificação devem ser ordenados, do menor para o maior valor. Dez por cento das amostras com os maiores valores (no caso de 10 pontos, serão os dois pontos com maior valor) devem ser separados, e entre ele o menor deve ser comparado a tolerância. O valor do nono ponto deve ser comparado com a tolerância. Além disso, deve ser

observado na “Planilha de Indicadores do Georreferenciamento” cálculo do desvio padrão dos erros. O valor limite do desvio padrão também deve ser acrescido em 20%, tomando-se como referência os valores do Quadro 2.

De forma resumida, os resultados em cada ponto de controle devem ser organizados em na “Planilha de Indicadores do Georreferenciamento” a fim de se calcular o Erro por Ponto, o Erro em 90% dos pontos e o Desvio Padrão. Analisa-se as tolerâncias, conforme mencionado anteriormente e classifica-se as cartas, considerando a tolerância SPU.

Caso o resíduo ultrapasse o referido limite, o ponto de verificação deve ser medido novamente, refinando-se a posição do ponto na imagem e após novo processamento e cálculo do RMS, caso o resíduo continue ultrapassando o referido limite, o ponto de verificação deve ser descartado, escolhendo-se, se possível, outro ponto na imagem próximo à localização do ponto descartado.

Caso a tolerância para o erro dos pontos de verificação não seja atingida, o georreferenciamento deve ser refeito, conforme previsto nos itens 5.2 e 5.3, e após novo processamento do georreferenciamento, caso a tolerância para o EM dos pontos de controle seja atingida e o erro dos pontos de verificação continue ultrapassando a tolerância, o georreferenciamento não deve mais ser refeito e essa situação deve ser informada no relatório anexo.

No caso do georreferenciamento ser realizado em um software que não tenha ferramenta de medição dos pontos de verificação e cálculo do respectivo EM, para a verificação da qualidade do georreferenciamento, dada pelos pontos de verificação, devem ser comparados os valores nominais das coordenadas dos respectivos cruzamentos do grid/canevá localizadas próximas à moldura com os valores das coordenadas lidos por apontamento com o cursor do mouse na imagem georreferenciada, calculando-se as diferenças de posicionamento planimétrico entre os mesmos (resíduos) e o RMS, com o auxílio da planilha “Georreferenciamento - Cálculos”.

A Figura 11 apresenta um exemplo de comparação dos valores nominais de coordenadas de um ponto de verificação correspondente a um cruzamento do grid/canevá de uma carta topográfica na escala 1:250.000 com os valores das coordenadas lidos por apontamento com o cursor do mouse na imagem georreferenciada, cuja diferença de posicionamento planimétrico é de 50 (cinquenta) metros, obtida pelo cálculo demonstrado a seguir:

- Valores nominais das coordenadas:

$$E = 200.000 \text{ m e } N = 8.330.000 \text{ m}$$

- Valores lidos das coordenadas:

$$E = 200.030 \text{ m e } N = 8.330.040 \text{ m}$$

- Diferença de posicionamento planimétrico:

$$\sqrt{\{(200.030 - 200.000)^2 + (8.330.040 - 8.330.000)^2\}} = \sqrt{\{(30)^2 + (40)^2\}} = \sqrt{2500} = 50 \text{ m}$$

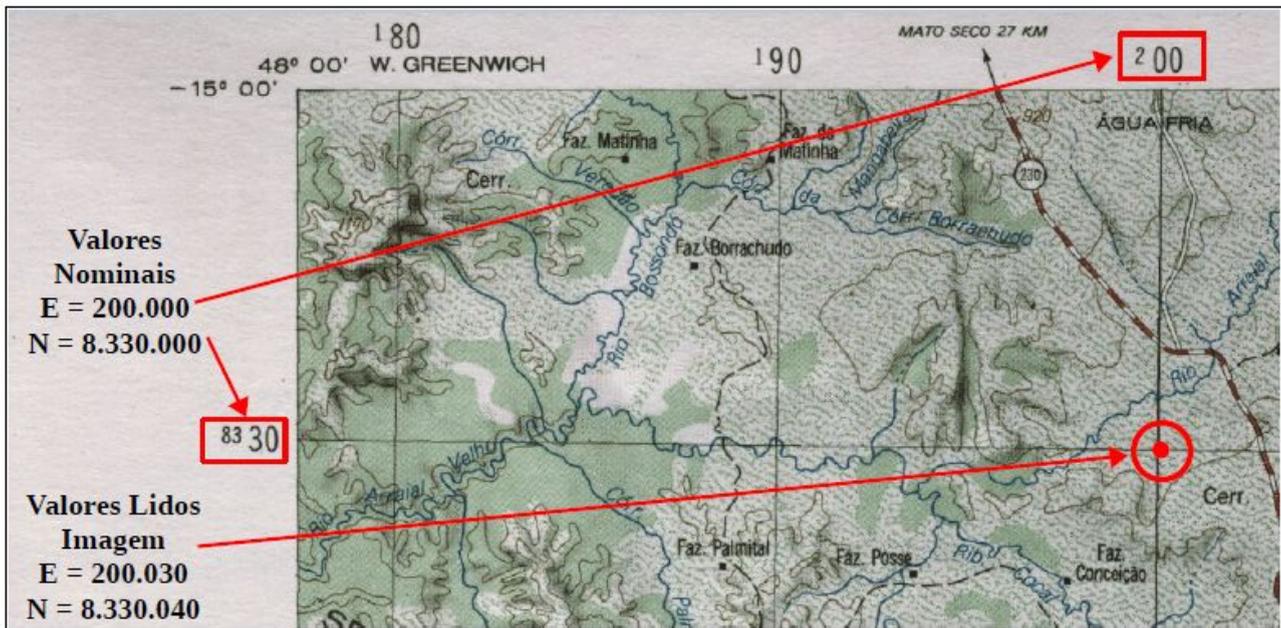


Figura 11: Comparação dos Valores das Coordenadas de um Ponto de Verificação
Fonte: Carta Topográfica Brasília (SD-23-Y-C) 1:250.000 do IBGE

6. Edição Matricial

O objetivo da edição matricial da imagem gerada na digitalização de um produto analógico geoespacial, na fase do georreferenciamento, é eliminar as informações adicionais do produto analógico geoespacial, como, por exemplo, título, legenda e coordenadas da moldura (geográficas) e do *grid/canevá* (planas/projetivas). Tal edição deve ser realizada somente após a realização do georreferenciamento da imagem. A eliminação de informações adicionais, normalmente, pode ser realizada manualmente, em um *software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG), com ferramenta do tipo “extrair/recortar” a partir de um polígono vetorial coincidente com a moldura gerado automaticamente pelo SIG a partir das coordenadas dos cantos da moldura ou de uma máscara definida manualmente sobre a imagem com pelo menos 02 (dois) *pixels* além da moldura (o ideal é executar os dois procedimentos possíveis, adotando-se o resultado que preservar toda a moldura na imagem recortada com o recorte mais próximo da moldura).

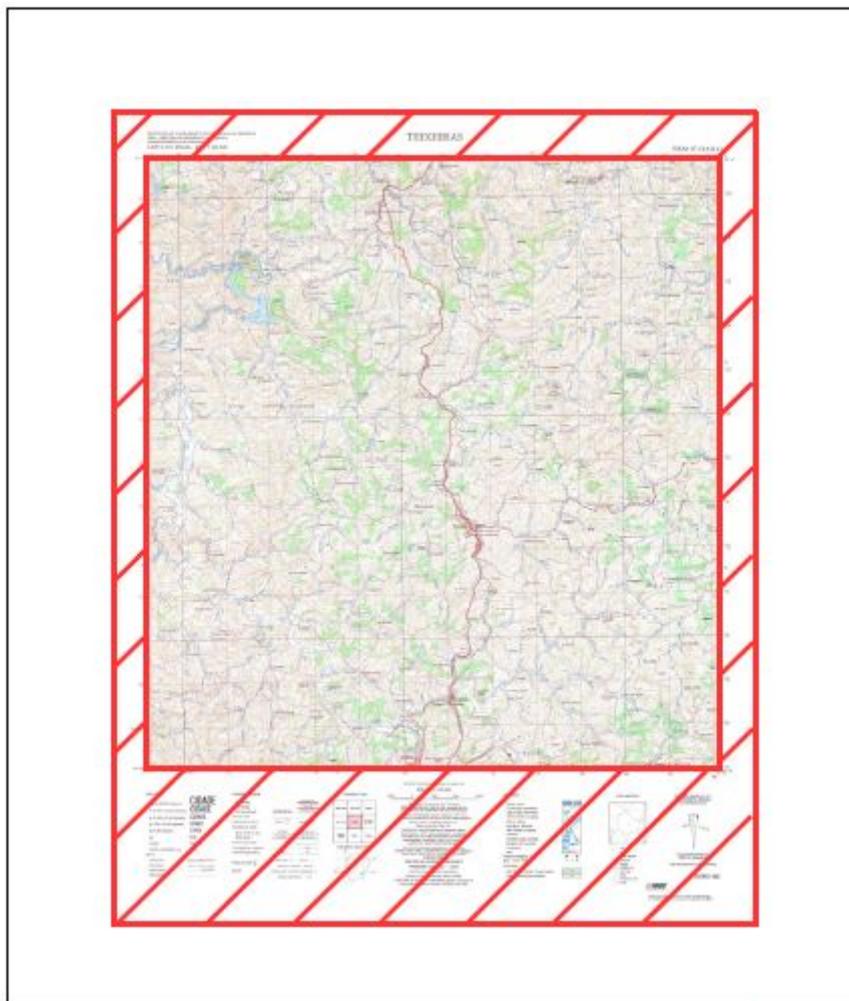


Figura 12: Informações Adicionais da Carta Topográfica (Área Hachurada)
Fonte: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/mapas/GEBIS%20-%20RJ/SF-23-X-B-V-1.jpg>

7. Revisão

A revisão do georreferenciamento deve ser realizada por técnico diferente do responsável pela atividade do georreferenciamento e tem por objetivo verificar se o mesmo foi realizado com todos os procedimentos previstos nesta metodologia.

A revisão do georreferenciamento deve ser baseada nas informações constantes do relatório anexo.

8. Relatório

Após o georreferenciamento e a edição matricial da imagem, deve ser preenchido o relatório anexo, o qual contém as principais informações relacionadas ao trabalho realizado e os profissionais responsáveis.

RELATÓRIO – GEORREFERENCIAMENTO

| INFORMAÇÕES DO PRODUTO ANALÓGICO GEOESPACIAL | | |
|---|-------------------------------|--|
| Nome (Título)⁽¹⁾ | | |
| Sistema de Referência | Datum⁽¹⁾ | |
| | Projeção⁽¹⁾ | |
| Escala⁽¹⁾ | | |
| Largura (metros)⁽¹⁾ | | |

| INFORMAÇÕES DA DIGITALIZAÇÃO MATRICIAL | |
|---|--|
| Resolução (dpi)⁽¹⁾ | |
| Nome do Arquivo (com extensão)⁽¹⁾ | |

| INFORMAÇÕES DO PREPARO | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|--------------------------|----------------------|
| Nome do Arquivo (com extensão) | | | | | |
| Observações | | | | | |
| Data de Início | dd/mm/aaaa | Data de Término | dd/mm/aaaa | Tempo de Execução | horas:minutos |
| Responsável | | | | | |

| INFORMAÇÕES DO GEORREFERENCIAMENTO | | | | | | | |
|---|--------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------------|------------------|
| TOLERÂNCIA - EM (metros) | | | | | | | |
| 1:1.000 | 1:2.000 | 1:5.000 | 1:10.000 | 1:25.000 | 1:50.000 | 1:100.000 | 1:250.000 |
| 0,5 | 1 | 2,5 | 5 | 12,5 | 25 | 50 | 125 |
| | | | | | | | |
| PONTOS DE CONTROLE | | | | | | | |
| Polinômio do 1º grau (Afim) | Qde de Pontos | | | | EM (metros) | | |
| | EM₁ (metros) | | | | | | |

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--|--|--|
| Polinômio do 2º grau | Qde de Pontos | | | |
| | EM ₂ (metros) | | | |
| Tolerância – EM (metros) | | | | |
| Análise | | EM ≤ Tolerância – EM ou EM > Tolerância – EM | | |
| Observações | | | | |

| PONTOS DE VERIFICAÇÃO | | | | | |
|-------------------------|-------------------|--|-------------------|-------------------|----------------------|
| Qde de Pontos | | | | | |
| RMS | | | | | |
| Tolerância RMS (metros) | | | | | |
| Análise | | EM ≤ Tolerância – EM ou EM > Tolerância – EM | | | |
| Observações | | | | | |
| Data de Início | dd/mm/aaaa | Data de Término | dd/mm/aaaa | Tempo de Execução | horas:minutos |
| Responsável | | | | | |

| INFORMAÇÕES DA EDIÇÃO MATRICIAL | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Nome do Arquivo (com extensão) | | | | | |
| Observações | | | | | |
| Data de Início | dd/mm/aaaa | Data de Término | dd/mm/aaaa | Tempo de Execução | horas:minutos |
| Responsável | | | | | |

| INFORMAÇÕES DA REVISÃO | |
|------------------------|--|
| Observações | |

| | | | | | |
|-----------------------|-------------------|------------------------|-------------------|--------------------------|----------------------|
| Data de Início | dd/mm/aaaa | Data de Término | dd/mm/aaaa | Tempo de Execução | horas:minutos |
| Responsável | | | | | |

| INFORMAÇÕES DO BACKUP (CÓPIA DE SEGURANÇA) | |
|---|--|
| Local (Computador/Rede/Mídia Móvel) | |
| Caminho | |

Observações:

(1): Informações oriundas do relatório da fase de Digitalização Matricial.

IV - Referências Bibliográficas

- “Manual Técnico de Vetorização - DSG - 1ª Edição – 2016”;
- Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (ET-ADGV-Defesa F Ter), 2ª Edição-2016;
- <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf>;
- <http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/geor.html>;
- <http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/aula3.pdf>; e
- https://support.context.com/english/support/support_home/glossary.aspx