

DIGITALIZAÇÃO DA PLANTA KOELER ATRAVÉS DE LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO: EM BUSCA DA MANUTENÇÃO DE ACERVO CARTOGRÁFICO HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS (RJ)

Manoel do Couto Fernandes

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

manoel.fernandes@ufrj.com

Deivison Ferreira dos Santos¹

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

sirdeivison@gmail.com

Tainá Laeta Felipe de Brito

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

tainalaeta@gmail.com

Gustavo Mota de Sousa

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

gustavoms@ufrj.br

Paulo Márcio Leal de Menezes

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

pmenezes@acd.ufrj.br

Resumo

A utilização de documentos cartográficos históricos em pesquisas diversas vem se mostrando cada vez mais imprescindível, e com o auxílio de novas tecnologias digitais, esses documentos são preservados e cada vez mais disponíveis ao público. O documento investigado nessa pesquisa foi o plano Koeler, que consistia em um planejamento urbanístico que serviu de orientação para o desenvolvimento da cidade de Petrópolis. O plano tem como marco a Planta de Petrópolis (1846), que ficou conhecida como Planta Koeler, em homenagem ao seu executor. A planta, na escala 1:5.000, contém diferentes elementos cartográficos, como hidrografia, vias, logradouros, bem como os prazos de terra, quarteirões e terrenos reservados aos edifícios públicos e religiosos. O presente trabalho tem como objetivo reproduzir digitalmente esta planta, visto que seu restauro e consequentemente de uso é bastante difícil face a suas condições atuais. A metodologia aplicada emprega técnicas de levantamento fotográfico, utilizando uma câmera digital de alta resolução e um sistema de trilho e variação de tomada vertical. Com o intuito de fazer a mosaicagem das 191 fotografias obtidas foram realizados uma série de testes utilizando múltiplos algoritmos de georreferenciamento afim de verificar qual deles teria um melhor ajuste das fotos e preservação das feições para geração da planta digital. O processo supracitado foi realizado em cinco pares de fotografias bem distribuídos pela área da planta, e para tanto foi utilizado o software *ArcGis* 10.1 com diferentes transformações: *Zero Order Polynomial*, *1st Order Polynomial (Affine)*, *2nd Order Polynomial*, *3rd Order Polynomial*, *Adjust*, *Projective Transformation* e *Spline*. Após o georreferenciamento destes pares, foi feito um teste em função das distorções produzidas em área e em comprimento, e foi verificado que a transformação *1st Order Polynomial (Affine)* foi a que mostrou menores valores de distorção das fotografias, o que garantiu uma mosaicagem de maior qualidade das fotos.

Palavras-chave: Planta Koeler, Levantamento fotográfico, Manutenção de acervo

Abstract

The use of historical cartographic documents in various research is proving increasingly essential, and with the assistance of new digital technologies, these documents are preserved and increasingly available to the public. The document investigated in this research was the Koeler plane, which consisted of an urban planning which served as a Petrópolis city development guidance. The plane is marked by the Petrópolis plan (1846), which became known as Koeler Plant, in honor of his executor. The plant, scale 1: 5.000, contains different cartographic elements such as

hydrography, roads, public parks and the land spots, blocks and land reserved for public and religious buildings. This paper aims to digitally reproduce this plan, since its restoration and therefore use is quite difficult due to their current conditions. The methodology employs photographic survey techniques, using a high resolution digital camera and a rail system and varying vertical scene capture. In order to make the mosaicking of 191 photographs taken were carried out a series of tests using multiple algorithms for georeferencing in order to verify which one would have a better set of photos and preservation of features for the digital plan generation. The process was conducted in five pairs of photographs distributed by the area of the plan, and was used *ArcGis* 10.1 software with different transformations: *Zero Order Polynomial*, *1st Order Polynomial (Affine)*, *2nd Order Polynomial*, *3rd Order Polynomial*, *Adjust*, *Projective Transformation* and *Spline*. After georeferencing of these pairs, a test was made on the basis of distortions produced in area and length, and it was found that the transformation *1st Order Polynomial (Affine)* was the one that showed lower distortion values of the photographs, which secured a highest quality photo mosaicking.

Keywords: Koeler plan, Photographical survey, Preservation of acquis

Introdução

O município de Petrópolis, situado na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro tem sua história vinculada a um planejamento incomum aos municípios brasileiros, pois teve como base um decreto imperial e a definição de uma planta, a Planta de Petrópolis (1846), conhecida como Planta Koeler, que serviu como base para um plano de ocupação do futuro município. O município, atualmente, é constituído por cinco distritos, sendo eles: Petrópolis (1° Distrito), Cascatinha (2° Distrito), Itaipava (3° Distrito), Pedro do Rio (4° Distrito) Posse (5° Distrito). No primeiro distrito é que ocorre a sua origem, ou seja, onde foi estabelecido seu local de fundação e a Planta Koeler (figura 1). Atualmente conhecida por seu potencial turístico, possui sua história vinculada diretamente com os planos da Corte Imperial no século XIX em instalar na região Serrana ao longo de um trecho da Variante do Caminho Novo uma residência de verão da Família Imperial. Neste sentido, sua expressiva importância fez ainda com que Petrópolis chegasse à condição de cidade sem ter nunca sido uma vila. A partir desta gênese o município foi acumulando um importante patrimônio cultural e natural que lhe credenciou a receber o título de Cidade Imperial, denominação largamente lembrada por seus moradores, estudiosos e turistas, que foi assegurada oficialmente em decreto de 6 de março de 1981 pelo então Presidente da República João Figueiredo (Souza, 2013).

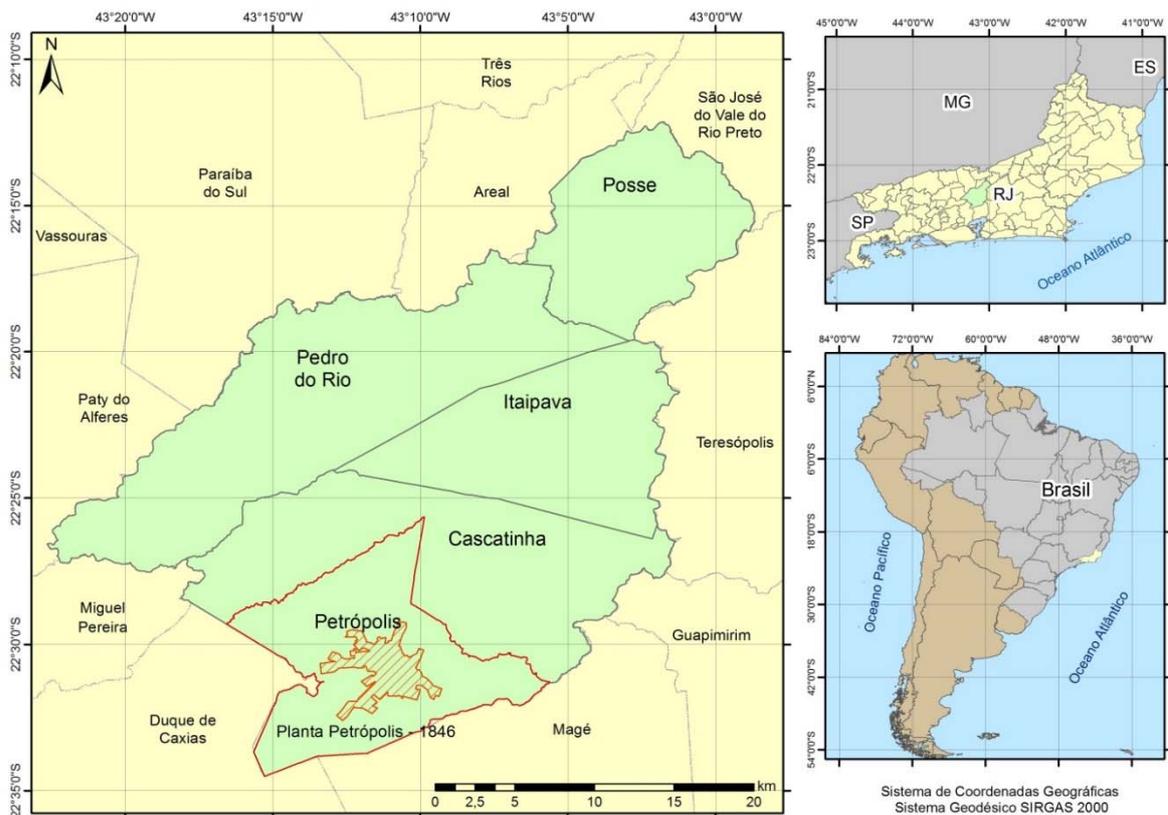


Figura 1: Localização do município de Petrópolis e da Planta Koeler

A fundação do município é datada de 16 de março de 1843, a partir da assinatura do imperador Pedro II do decreto imperial que, no Livro da Mordomia, tomou o número 155, visando a fundação de povoado e a construção de residência imperial na futura Petrópolis, exatamente, na antiga fazenda do Córrego Seco que treze anos antes fora adquirida pelo pai de Pedro de Alcântara, o então imperador Pedro I (AMBROZIO, 2012). Este decreto aprova o plano do Mordomo da Casa Imperial, Paulo Barbosa, que previa o arrendamento da Fazenda Imperial, outrora nominada Fazenda do Córrego Seco e Fazenda da Concórdia, ao Major Julio Frederico Koeler, migrante alemão que se incorporara no corpo de engenharia militar do exército brasileiro.

Este decreto trouxe como necessária consequência o documento de 26 de julho de 1843, que estabelecia as regras de arrendamento da fazenda de Pedro II, e indicava as normas gerais para a concessão da fazenda da Casa Imperial, fazendo parte integrante do decreto original anterior. Este documento é amplamente relatado por Paula Buarque (1940). Segundo Ambrozio (2012) é patente nesta “Escriptura de Arrendamento...”, elaborada por Paulo Barbosa e composta de 16 artigos, o poder territorial da Casa Imperial sobre o seu solo serrano. Ainda segundo Ambrozio (2012), o arrendatário Koeler foi tão somente administrador da fazenda: um capataz privilegiado ou comissário da Mordomia com alguns benefícios, dentre esses já que arrendatário cobrador de foro, o direito a 10% de tudo o que recolheria à Casa Imperial.

Esse decreto ficou conhecido como plano de “Povoação-Palácio de Verão” ou plano Koeler. O arrendatário, Júlio Koeler, estava obrigado a levantar a planta futura de Petrópolis, do palácio do Imperador e seus anexos, fazendo a divisão das terras imperiais em lotes ou prazos numerados para o aforamento (PAULA BUARQUE, 1940, p.112). A planta contém diferentes elementos cartográficos, como hidrografia, vias, logradouros, bem como os prazos de terra (lotes) em que foram divididos os quarteirões e os terrenos reservados aos edifícios públicos e religiosos (SÁ EARP, 1996 e SOUZA, 2013). Estes prazos foram destinados a colonos de origem germânica que foram a base da mão-de-obra para a construção das principais edificações do município de Petrópolis, como o Palácio Imperial, atual Museu Imperial (figura 2).



Figura 2: Planta Koeler – Cia. Imobiliária de Petrópolis

Rabaço (1985) discorre sobre importantes aspectos que caracterizam o plano Koeler como um projeto com uma preocupação de uso ambiental responsável. Este autor ressalta que o plano pode ser encarado como o primeiro código de obras petropolitano não permitindo a construção em topos de morros e a subdivisão de lotes no sentido horizontal, ou seja, paralelo a linha de frente do mesmo. Estabelecia ainda que todas as residências teriam suas frentes voltadas para os rios, sendo o esgoto direcionado para fossas nos fundos dos terrenos, sendo esta característica tida pelo autor como uma das mais originais do plano Koeler visto

que dispensava o tradicional estilo colonial em que as casas eram erguidas de fundos para os rios que funcionavam como receptáculos de dejetos. Por fim, ressalta-se o planejamento das áreas verdes que conteriam alamedas arborizadas e jardins compostos de hortênsias, magnólias e paineiras (figura 3).



Figura 3: Detalhes da Planta Koeler com a subdivisão de lotes numerados e com o nome dos colonos que os ocuparam

O plano Koeler pode ser encarado como um planejamento urbanístico cujo elemento de referência espacial é a Planta Koeler (1846), além de servir também como guia para gestão do mesmo. Rabaço (1985) salienta que Koeler assumiu dois cargos frente a este projeto: Diretor da Imperial Colônia de Petrópolis, cargo de caráter planejador, executor do plano onde também eram conferidas atividades de supervisão de educação, saúde, segurança e até mesmo assistência religiosa; e Superintendente da Fazenda Imperial de Petrópolis que era uma espécie de entidade jurídica que mantém o controle rentista da propriedade fundiária sobre a qual a cidade originalmente se organizou, caracterizando uma das enfiteuses existentes no Brasil. Essa Companhia atualmente é conhecida como Companhia Imobiliária de Petrópolis, e é onde o objeto de estudo deste trabalho, a Planta Koeler, esta situada.

Em face a importância histórica desta planta o presente trabalho tem como objetivo reproduzir digitalmente este documento cartográfico, que se encontra emoldurada em madeira com uma proteção de vidro na Companhia Imobiliária de Petrópolis, e por conta do seu atual estado de conservação possui uma difícil possibilidade de restauro e conseqüentemente de uso (figura 4). Assim, pretende-se criar uma memória desta planta, antes de sua completa degradação, para que sirva de base para uma série de pesquisas futuras sobre a origem deste município. Vale ressaltar que, a utilização de documentos cartográficos históricos em diversas pesquisas, traz consigo uma crescente preocupação de sua preservação, nos quais tais documentos se encontram cada vez mais acessíveis ao público com o auxílio das novas tecnologias.

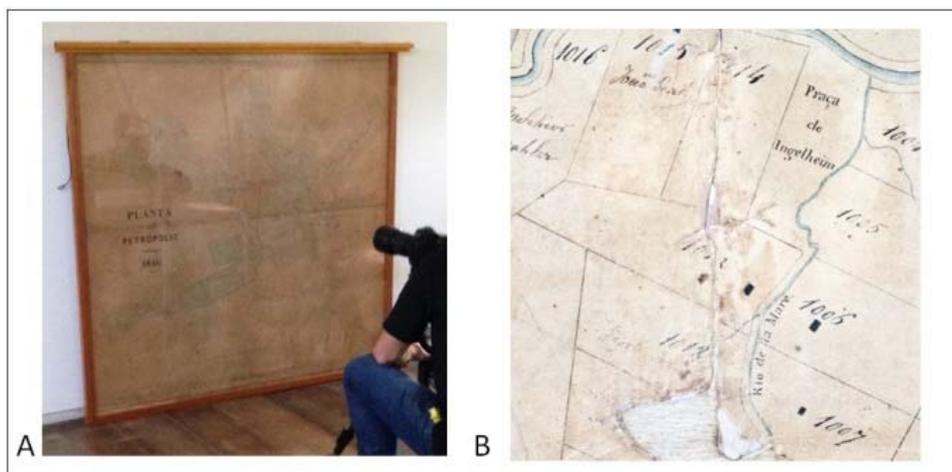


Figura 4: Estado atual da Planta Koeler: (A) Tomada total da planta emoldurada em madeira e vidro (B) Detalhe de uma das diversas partes deterioradas

Materiais e métodos

A metodologia foi baseada na captura de cenas de alta resolução da imagem, e posteriormente foram aplicados dois tipos de testes para avaliar os métodos de georreferenciamento entre as cenas que garantissem um melhor ajuste entre as mesmas, e conseqüentemente, a criação de um mosaico de reconstituição da planta satisfatório. Estas etapas são caracterizadas pelo levantamento fotográfico, e os testes visuais e métricos, cujo fluxograma metodológico pode ser observado na figura 5.

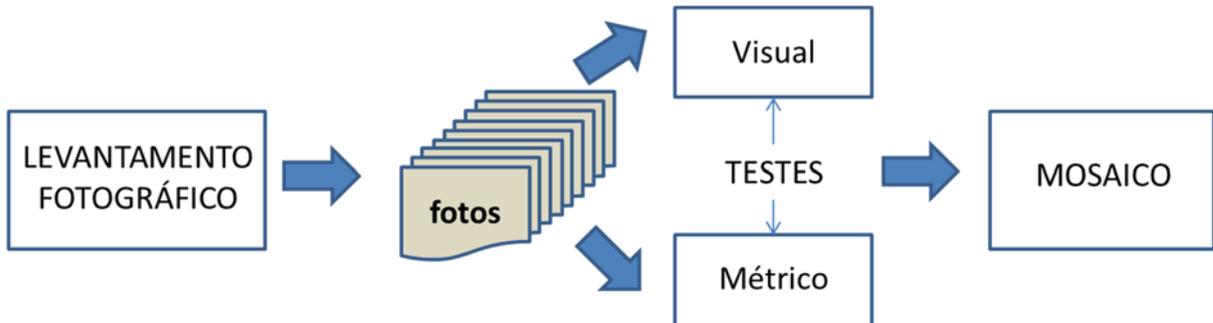


Figura 5. Fluxograma metodológico empregado no trabalho.

O levantamento fotográfico foi realizado na Companhia Imobiliária de Petrópolis, evitando o transporte e riscos de danos ao material. Para tal, foi utilizado equipamento fotográfico de alta resolução com as suas características descritas na tabela 1. As peças foram planificadas num sistema de trilho apoiado no chão, sendo a câmera fixada numa baliza para variação de tomada vertical (Figura 6). A partir destes materiais foi definida uma distância focal que permitisse uma captura de cenas que possuíssem resolução espacial própria, e que facilitasse a identificação de detalhes de suma importância, como os topônimos e outros elementos planimétricos da planta.

Tabela 1: Características do equipamento fotográfico utilizado

ITEM	DESCRIÇÃO
Câmera	Canon EOS 5D Mark II
Lente	fixa Canon 100mm
Abertura	f/25 a f/18
Velocidade	3,2" a 30"
Distância Câmera x Planta	1 metro

Os arquivos fotográficos digitais foram gerados em formato imagem RAW e depois processados visando criar uma equalização de cores entre as cenas a partir de softwares para tratamento de imagens. Como saída estas imagens foram salvas no formato JPG sem aplicação de compressão de arquivo.



Figura 6. Sistema utilizado com o trilho, baliza e câmara digital de alta resolução para levantamento fotográfico da planta Koeler.

O resultado deste levantamento gerou digitalmente 191 fotografias, que primaram pela preservação das informações contidas na planta. Com as fotografias fragmentadas foi montado um fotoíndice (Figura 7) que permitiu a visualização do conjunto fotografado e identificação das fotografias por códigos.

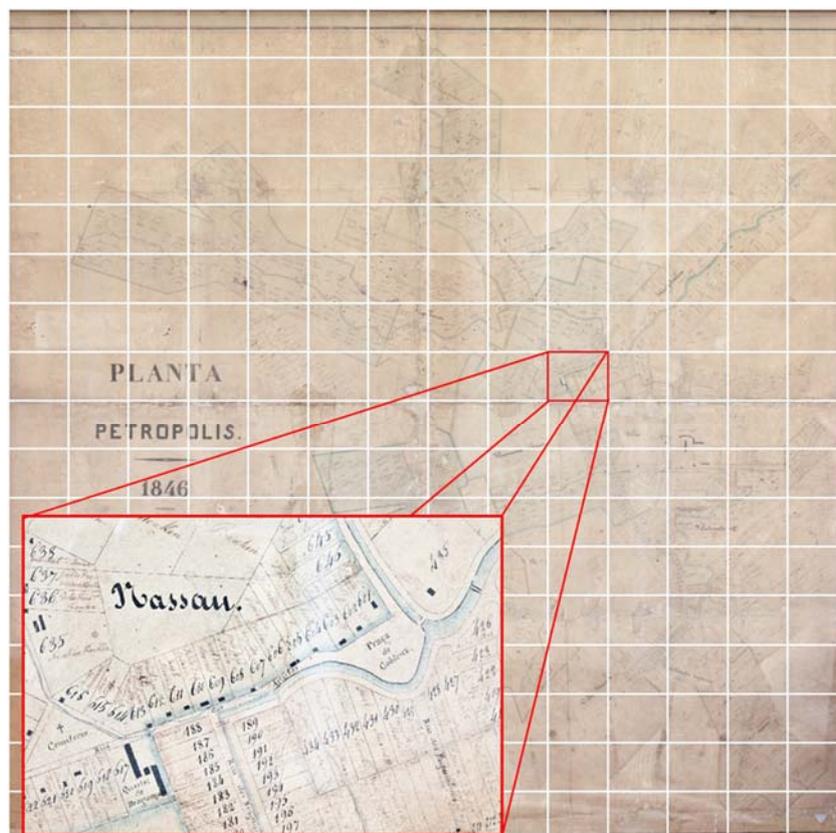


Figura 7. Fotoíndice das fotografias levantadas.

Após o levantamento fotográfico foi iniciado a etapa de testes visuais e métricos, visando apontar o melhor método de georreferenciamento entre as fotos, através de diferentes algoritmos. O intuito foi entender qual

algoritmo de georreferenciamento proporcionaria um melhor ajuste entre as fotos, evitando grandes distorções, e preservando as feições. Vale ressaltar que este processo buscou georreferenciar uma foto em relação a outra, não sendo adotado nenhum sistema de posicionamento terrestre neste momento. A ideia é que este posicionamento terrestre seja realizado somente no mosaico resultante deste trabalho. Esta etapa de testes de métodos de georreferenciamento é necessária, pois, mesmo tendo sido tomados todos os cuidados no levantamento fotográfico, as fotografias não possuem uma simetria que permita um encaixe adequado entre elas.

O georreferenciamento foi realizado a partir da identificação de pontos reconhecidos nas duas fotografias, que são conhecidos como pontos de controle. Eles são responsáveis pelo ajuste das coordenadas de cada pixel (linhas, colunas – i, j), entre as duas fotografias (imagens). Antes da escolha dos pontos, foram analisados alguns critérios para a localização e quantidades dos pontos de controle a serem utilizados no georreferenciamento. Foi assumido para o georreferenciamento de um par de fotografias 10 pontos de controle terrestre distribuídos de maneira mais uniforme possível dentro da área de sobreposição entre as fotografias, que corresponde a 1/5 da área total de uma fotografia. Para tanto foi utilizado o software *ArcGIS 10.1* com diferentes transformações: *Zero Order Polynomial*, *1st Order Polynomial (Affine)*, *2nd Order Polynomial*, *3rd Order Polynomial*, *Adjust*, *Projective Transformation* e *Spline*. Assim uma fotografia serviu como referência (B) e a outra (A) foi georreferenciada utilizando os dez pontos citados presentes em ambas as fotografias (Figura 8 e 9).



Figura 8. Mosaico do par de fotografias. Em vermelho a área total das duas fotos utilizadas, em azul a área de sobreposição de onde foram extraídos os pontos de controle, e as cruzetas vermelhas são os pontos de controle.

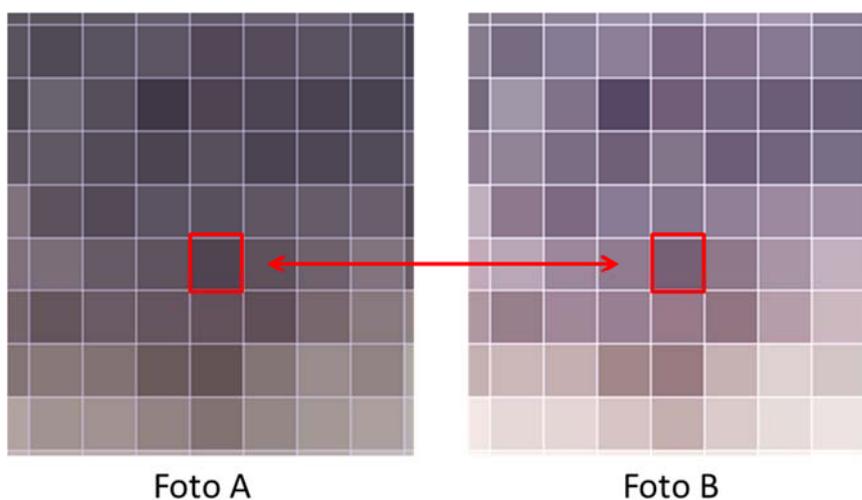


Figura 9. Exemplo de identificação dos pontos utilizados no trabalho

O primeiro teste, denominado visual, teve por objetivo determinar visualmente o impacto causado na área de uma das fotografias após ser submetida às transformações de georreferenciamento, ou seja, ver qual destas transformações preservam mais a área da fotografia georreferenciada. Assim, após o georreferenciamento, foi feito um teste visual comparativo em função da distorção produzida pela área da imagem georreferenciada tendo como referência a área original da fotografia.

O segundo teste, denominado métrico, é mais específico, pois visa avaliar com maiores detalhes o impacto causado por cada transformação após o georreferenciamento das fotografias. Assim foram feitas mensurações, antes e depois do georreferenciamento, de distância e área. A de distância foi realizada entre dois pontos conhecidos nas fotografias, e a área em função do tamanho da fotografia. Além dessas duas mensurações foi ainda avaliado o Erro Médio Quadrático (RMS) para cada uma das transformações. Estes valores foram tabelados e discriminados graficamente para verificação e classificação das transformações. Este teste foi realizado em cinco pares de fotografias considerando a presença dos diversos elementos cartográficos e em áreas bem distribuídas pela planta Koeler (Figura 10) com o intuito de tornar a avaliação mais uniforme possível, sendo um par de fotografias por área, e também com a utilização de 10 pontos de controle por par.

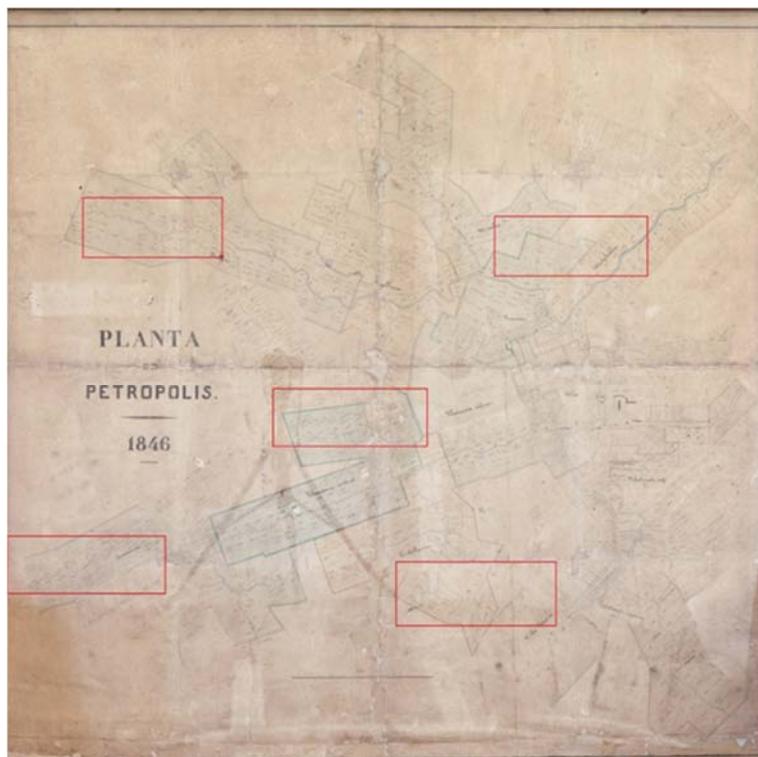


Figura 10. Áreas na planta Koeler selecionadas para o segundo teste, cada área representa um par de fotografias totalizando 10 fotografias.

A distância entre os dois pontos conhecidos (Figura 11) foi medida marcando-se os mesmos pixels a cada transformação realizada. Com os pontos bem definidos, utilizou-se a ferramenta point to line (ArcGis, 2015) para gerar uma reta que ligasse os pontos, esta reta então foi submetida a um processo do cálculo de comprimento.



Figura 11. Exemplo da métrica entre os dois pontos conhecidos.

As áreas das imagens, tanto as originais quanto as georreferenciadas, foram calculadas a partir da identificação do número de pixel da imagem, antes e depois do georreferenciamento, e o tamanho horizontal e vertical destes pixels, que é apresentado na seguinte equação: Área = (n° linhas x n° de colunas) x (tamanho da célula X x tamanho da célula Y).

Resultados e discussões

No primeiro teste, o georreferenciamento do par gerou 6 fotografias, uma para cada transformação utilizada. A partir de uma análise visual da fotografia do par que fora georreferenciada, foi detectado que o georreferenciamento utilizando os algoritmos das transformações *1st Order Polynomial (Affine)*, *Projective Transformation*, *Spline* e *Zero Order Polynomial (Shift)* foram os que apresentaram menores distorções em função da área e do encaixe entre as fotografias (Figuras 12-A, 12-D, 12-E e 12-F). As outras transformações, com exceção da *Adjust* que não gerou imagem georreferenciada, são apresentadas nas figuras 12-B e 12-C, onde é ressaltado o posicionamento da fotografia A em relação ao quadro vermelho de sua área original.

É importante ressaltar que esta avaliação visual gerou um primeiro resultado que será apurado no teste seguinte, o teste métrico. Entretanto, a particularidade de cada algoritmo das transformações utilizadas geraram resultados que devem ser vistos com mais cuidado, como por exemplo, o resultado do teste visual da transformação *Zero Order Polynomial (Shift)*, que visualmente foi a que apresentou menor distorção, o que decorre do fato desta transformação realizar apenas um processo de translação (*Shift*) da fotografia, preservando totalmente a sua área. Porém, o encaixe com a foto que compõem o par ficou prejudicado, visto que as feições homólogas das duas fotos não encaixaram, mesmo nos pontos que foram utilizados para o georreferenciamento (figura 13). Este fato decorre porque esta transformação assume uma característica global, onde o georreferenciamento ocorre levando em consideração a foto como um todo, aliado a premissa de gerar apenas uma translação na imagem resultante. Assim, para o trabalho proposto este tipo de transformação não se apresentou útil.

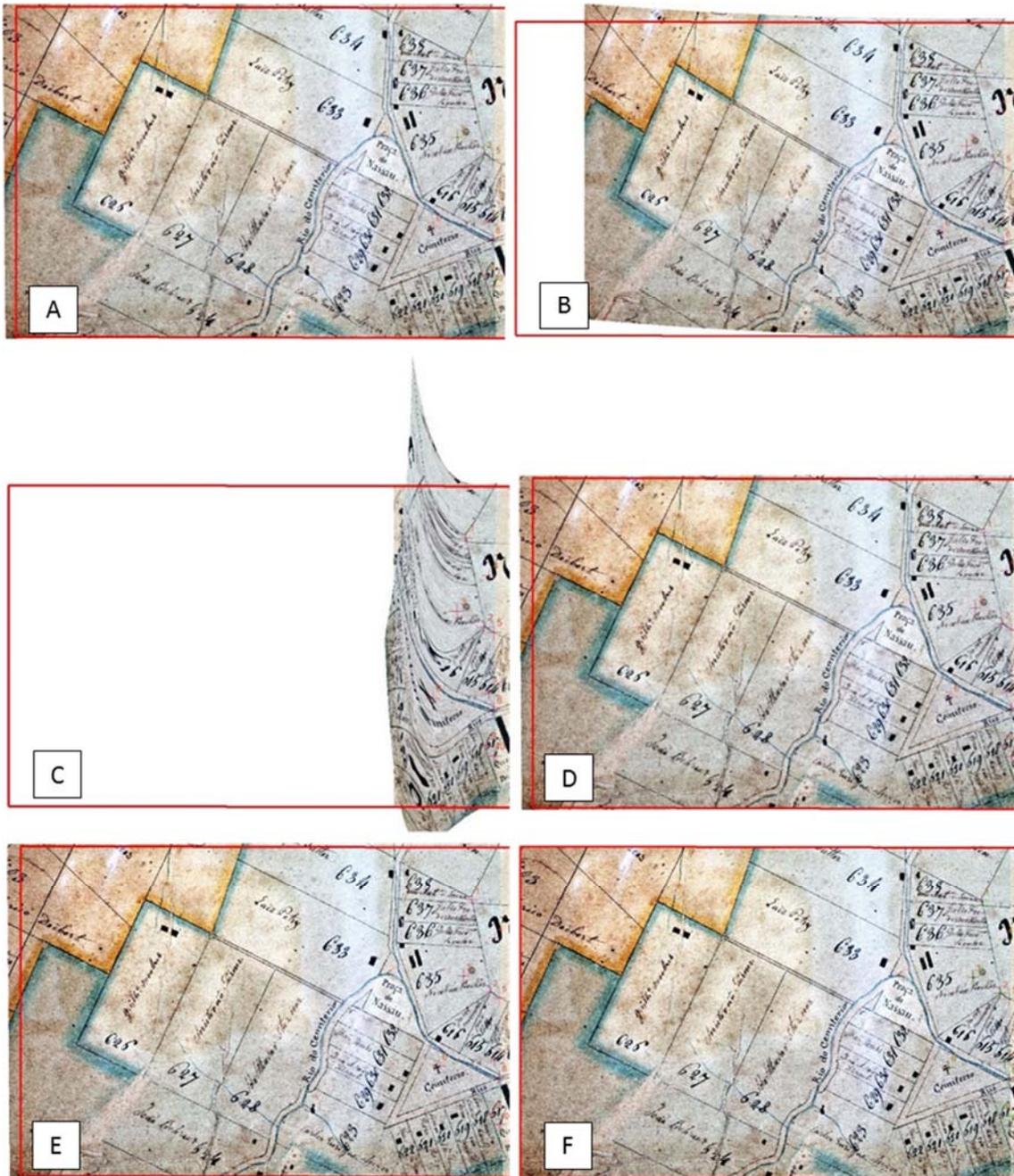


Figura 12. Exemplos do primeiro teste após o georreferenciamento. Sendo o resultado A utilizando a transformação 1^{st} Order Polynomial (Affine), B utilizando a 2^{nd} Order Polynomial, C utilizando a 3^{rd} Order Polynomial, D utilizando a *Projective Transformation*, E utilizando a *Spline* e F utilizando a *Zero Order Polynomial (Shift)*.



Figura 13. Área de junção de duas fotos submetidas a transformação *Zero Order Polynomial (Shift)*.

No segundo teste após o georreferenciamento dos pares era previsto a geração de 35 imagens, mas novamente na transformação *Adjust* não gerou imagem, em nenhum dos cinco pares, após sua aplicação. Além disso, as imagens resultantes da transformação *3rd Order Polynomial* ficaram com uma distorção, como pode ser visto na figura 12-C, que impossibilitou a identificação dos pixels a serem utilizados no teste métrico de distância. Assim, não foi possível fazer o levantamento dos dados das imagens que não foram geradas e das que se apresentaram com distorções que inviabilizassem os testes. Este fato ocorreu pois a transformação *Adjust* e *3rd Order Polynomial* atuam de maneira global e local, necessitando de um número grande de pontos de controle, em relação aos outros métodos, e bem distribuídos por toda a imagem a ser georreferenciada para garantir qualidade ao processo. Essas características fazem com que estes métodos de transformação não sejam adequados ao propósito do trabalho, visto que a metodologia se restringe a uma pequena área na borda da fotografia para coleta de pontos de controle, ou seja, a área de sobreposição entre os pares fotográficos.

Na figura 14 são apresentados exemplos resultantes georreferenciamento de um par de fotografias, com a inserção dos elementos que foram utilizados para a execução dos testes métricos. Para o teste de área é apresentado em verde a área da imagem antes da transformação e em azul a área da imagem ao final do georreferenciamento. Já para o teste de distância são expostas duas linhas, em amarelo a mensuração original e em vermelho pós georreferenciamento.



Figura 14. Exemplos da fotografia 5067 após o georreferenciamento. Sendo o resultado A utilizando a transformação *1st Order Polynomial (Affine)*, B utilizando a *2nd Order Polynomial*, C utilizando a *Projective Transformation*, D utilizando a *Spline* e E utilizando a *Zero Order Polynomial (Shift)*.

Avaliando inicialmente os valores de Erro Médio Quadrático (RMS) para cada uma das transformações, a partir dos dez pontos utilizados (figura 15), é possível perceber que os métodos de transformação que apresentaram melhores resultados, excluindo os métodos *Zero Order Polynomial (Shift)*, *Adjust* e *3rd Order Polynomial* que foram descartados no teste anterior (visual), foram os métodos *Spline*, *2nd Order Polynomial*, *Projective Transformation* e *1st Order Polynomial*. Estes apresentaram os RMS médios em pixel de 0,00; 1,33; 4,85 e 5,36, respectivamente.

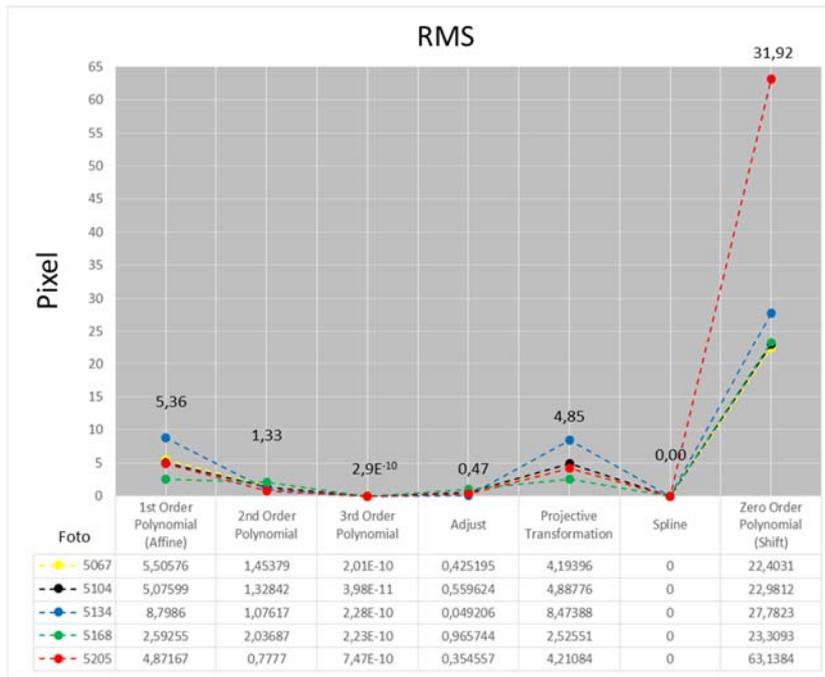


Figura 15. Erro Médio Quadrático (RMS) de cada método empregado para os cinco pares de fotografias e seus respectivos valores médios

É importante ressaltar que o valor do Erro Médio Quadrático (RMS) é a diferença entre o local de origem de um ponto de controle e a localização do mesmo ponto, quando o ponto é submetido a uma transformação geométrica. Sendo assim, o que é mensurado com este valor é o erro de posicionamento dos pontos de controle, neste caso, os dez pontos utilizados. Assim, este valor não se torna muito apropriado para avaliação de precisão, pois ele utiliza apenas os pontos de controle, desprezando os erros que possam ocorrer ao longo da imagem resultante, o que no presente caso restringe este valor apenas aos pontos que são distribuídos na área de sobreposição dos pares, que equivale a um pequeno trecho de 1/5 da fotografia.

Além disso, vale ressaltar que cada transformação tem características que podem influenciar neste valor, como por exemplo o método *Spline*, que é um método de interpolação que estima valores usando uma função matemática que minimiza a curvatura da superfície resultando em uma superfície suave que passa exatamente pelos pontos de entrada (MARCUIZZO *et al.*, 2011). A transformação *Spline* é um método destinado para exatidão local, não garantindo a precisão global. Quando o ponto de controle é registrado, a transformação faz com que o alvo seja exatamente inscrito no local onde o ponto foi marcado, não garantindo uma precisão aos pixels que estão distantes dos pontos de controle. Assim, o RMS sempre será igual a zero, não significando que a imagem como um todo mantenha o mesmo comportamento de precisão.

O teste métrico de distância apontou o método de transformação *Affine* como o que teve menor valor percentual médio de diferença de distância, antes e pós georreferenciamento (2,36%), seguido do método *Spline* (2,89%) e *Projective Transformation* (4,48%) (figura 16). Os outros métodos apresentaram erros médios percentuais com valores bastante elevados, os quais apontam para o seu não uso no trabalho proposto, como é o caso do *2nd Order Polynomial* (25,59%) e do *Adjust* e *3rd Order Polynomial*, que atingiram valores de 100%. É importante ressaltar, que estes métodos não geraram imagem ou não quando geraram resultaram em imagens muito distorcidas, o que inviabilizou este teste, sendo atribuído então o valor de 100%. Além disso, o método *Zero Order Polynomial*, como não possui nenhuma transformação geométrica de escala ou rotação associado, e sim apenas uma translação (*Shift*), faz com que o erro seja igual a zero, como o que ocorre no teste de área, mas seu resultado como visto anteriormente não se aplica pelo fato de ter um ajuste preciso na área de junção dos pares. Essa transformação é comumente usada quando a imagem já está georreferenciada e é necessário ajustá-la com um deslocamento para melhor alinhamento dos dados, sendo necessário para sua execução apenas 1 ponto de controle.

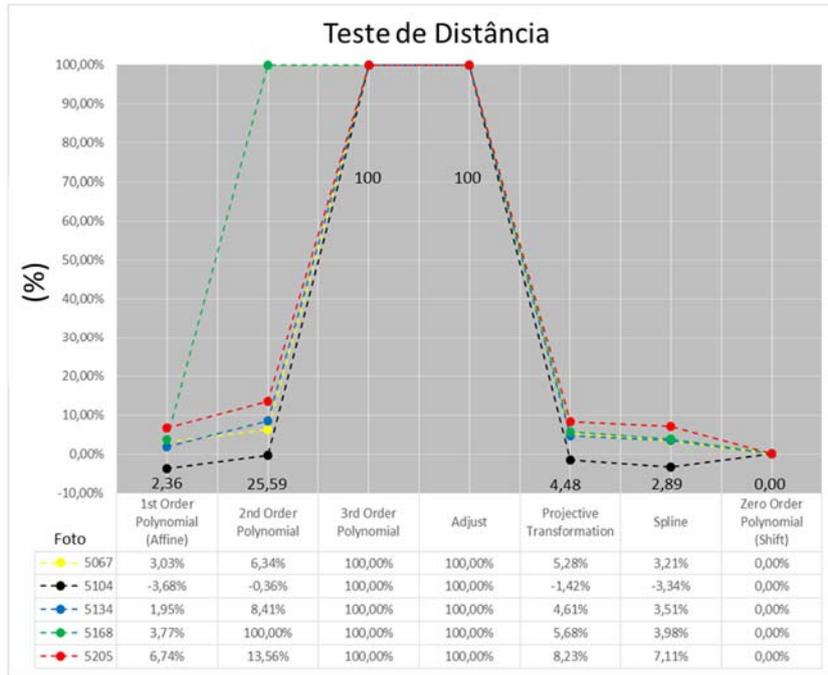


Figura 16. Valores relativos de erro de distância de cada método empregado para os cinco pares de fotografias e seus respectivos valores médios

O teste métrico de área apontou a mesma tendência do teste de distância, ou seja, o método de transformação *Affine* teve o menor valor percentual médio de diferença de área, antes e pós georreferenciamento (3,06%), seguido do método *Spline* (3,40%) e *Projective Transformation* (5,56%) (figura 17). Os outros métodos apresentaram erros médios percentuais com valores bastante elevados, os quais apontam para o seu não uso no trabalho proposto, como é o caso do *2nd Order Polynomial* (25,69%) e do *Adjust* e *3rd Order Polynomial*, que atingiram valores de 25,66% e 100%, respectivamente. Neste teste, novamente a transformação *Zero Order Polynomial* apresentou valor de erro relativo de área igual a zero, por conta das suas características já mencionadas.

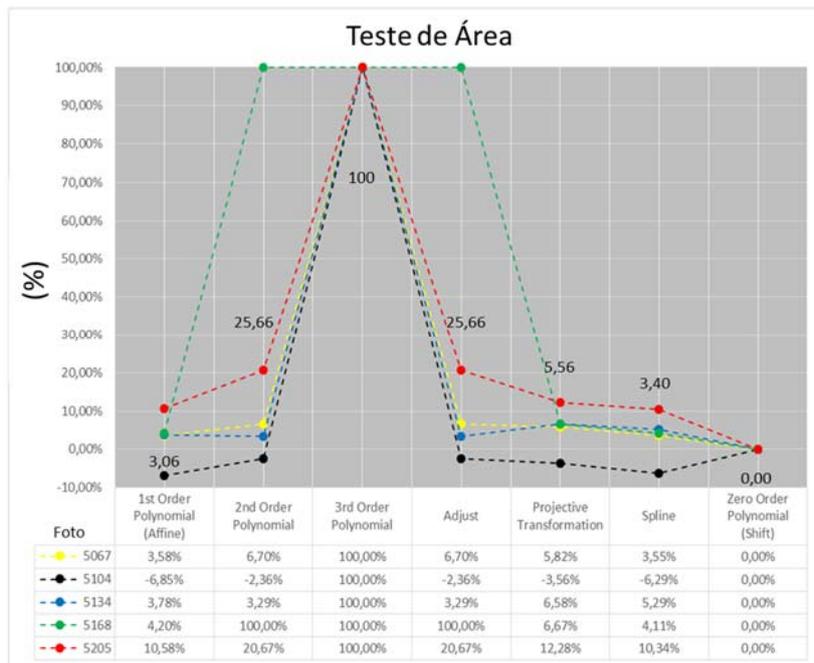


Figura 17. Valores relativos de erro de área de cada método empregado para os cinco pares de fotografias e seus respectivos valores médios

Os resultados dos testes realizados apontam para a utilização da transformação *1st Order Polynomial (Affine)*, pois obteve os melhores comportamentos nos testes métricos (área e distância) e foi um dos melhores no teste visual. Ainda é importante ressaltar que estes testes métricos foram os que tiveram maior influência sobre a escolha do método a ser empregado na reconstituição fotográfica da Planta Koeler. O uso da transformação *1st Order Polynomial (Affine)* implica em translação, alteração da escala e rotação dos dados. Assim, quadrados e retângulos nos dados são geralmente alterados por paralelogramos de escalonamento e orientação angular arbitrários. Esta transformação necessita de no mínimo 3 pontos de controle para que o algoritmo seja aplicado de forma precisa, a partir do próximo ponto de controle começam a ser produzidos erros residuais que são distribuídos por todos os pontos afim de ajustá-los de acordo com o seu posicionamento. Assim, por mais que o erro da transformação matemática aumente com o número de pontos de controle, podemos ter uma garantia maior da precisão do conjunto. Quanto maior a ordem da transformação polinomial, mais complexa é a distorção a ser corrigida. Transformações de ordem superior a terceira raramente são necessárias, pois elas requerem uma maior quantidade de pontos de controle e conseqüentemente envolvem mais tempo de processamento. Em geral, as transformações polinomiais de segunda ou terceira ordem são utilizadas quando a imagem necessita que ocorra uma curvatura na imagem para ela se ajustar, o que não é o caso no presente trabalho.

A partir desta definição o trabalho de reconstituição da Planta Koeler foi iniciado e tem mostrado bastante coerência com os dados levantados. Um primeiro trecho já se encontra mosaicado (figura 18), e em breve com todo o mosaico pronto será realizado outro georreferenciamento para ajustar o mosaico final a um sistema de coordenadas terrestres, visando integrar esta planta como um plano de em um sistema de informações geográficas histórico do município de Petrópolis.

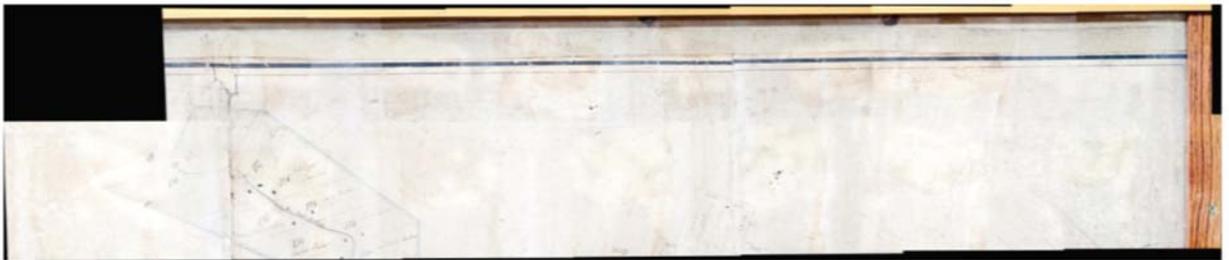


Figura 18. Pequeno trecho mosaicado da Planta Koeler

Conclusões

A escolha do melhor método de georreferenciamento passa por uma série de testes e critérios, que apontou neste trabalho para o *1st Order Polynomial (Affine)*. Essa escolha também foi avaliada a partir do levantamento do algoritmo de cada método e suas características, visando, dentro do objetivo específico deste trabalho, julgar qual destes é o mais indicado. Isso significa dizer que, para outros trabalhos com objetivos e condições de trabalho diferenciadas a transformação *1st Order Polynomial (Affine)* seja apropriada.

Na verdade, tudo o que se mede ou se modela está sujeito a erros e esses erros respondem pela qualidade do produto em análise. A questão não é a busca da perfeição mas sim o conhecimento da incerteza e saber se esta se adequa ou não ao trabalho proposto.

Referências Bibliográficas

AMBROZIO, J.C.G. O Território da Enfeuse e a Cidade de Petrópolis - RJ, Brasil. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Barcelona, vol. XVI, n° 418(39), p. 1-7, 2012.

ArcGIS. *Fundamentals of georeferencing a raster dataset - Help 10.1*. 2015. In: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//009t000000mn000000>. Acesso em: 15/05/2015.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, LR de; MELO, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, n. 4, p. 793-804, 2011.

PAULA BUARQUE, A. *História e Historiographos da Cidade de Petrópolis*. Rio de Janeiro: O Livro Vermelho dos Telefones, 1940.

RABAÇO, H.J. *História de Petrópolis*. Petrópolis: Instituto Histórico de Petrópolis, 1985.

SÁ EARP, A.L. Os quarteirões. *Revista de Petrópolis*, Ano I, n.º 3, Setembro de 1996. Disponível em: http://www.ihp.org.br/lib_ihp/docs/alse19941025.htm. Acesso em: 15/04/2014.

SOUZA, B.C.P. A Toponímia como uma forma de resgatar a memória do lugar. *Anais do V Simpósio Luso-Brasileiro de Cartografia Histórica*, Petrópolis, 2013. Disponível em: http://www.cartografia.org.br/vslbch/trabalhos/77/100/beatriz_simposio-luso-brasileiro-2013_1379385701.pdf. Acesso em: 19/01/2013.