

Estudo de Precisão na Elaboração dos Desenhos Cartográficos

Ronaldo dos Santos da Rocha ¹
 Artur Caldas Brandão ²
 Jürgen Philips ³

¹ Eng. Cart. Prof. MSc. Instituto de Geociências – UFRGS
 Doutorado – Eng. de Produção – UFSC
 ✉ rsrocha@if.ufrgs.br

² Eng. Agrim. Prof. MSc. Dept^o. de Transportes - Escola Politécnica – UFBA
 Doutorado – Eng. de Produção - UFSC
 ✉ acaldas@ufba.br

³ Prof. Dr.-Ing. - Dept^o de Engenharia Civil – UFSC
 ✉ philips@ecv.ufsc.br

Conteúdo	
	1 Introdução
	2 Método
	2.1 Desenho Digital
	2.2 Desenho Manual
	2.3 Comparação dos Arquivos
	3 Resultados da Comparação entre o Desenho Digital e os Desenhos Manuais
	3.1 Comparação com Referência aos Pontos de Apoio.
	3.2 Comparação com Referência aos Pontos de Levantamento.
	3.3 Comparação com Referência às Áreas.
	4 Erro do Desenho Manual
	4.1 Erros no Processo de Digitalização
	4.2 Erro do Desenho Manual nos Pontos de Apoio
	4.3 Erro do Desenho Manual nos Pontos de Levantamento
	5 Considerações Finais
	6 Bibliografia

Resumo: O presente trabalho apresenta um estudo comparativo da qualidade métrica entre dois métodos de confecção de uma planta cadastral – o manual e o digital. O padrão métrico adotado como referência foi um croquis básico, resultado da medição direta no terreno utilizando-se os métodos ortogonal e dos alinhamentos. Na análise dos resultados, foram utilizadas duas amostras correspondentes aos desenhos manuais realizados por dois operadores distintos. As qualidades geométricas dos dois desenhos foram então comparadas ao desenho realizado com auxílio da computação gráfica. Para tanto foi necessário realizar a conversão do desenho analógico (manual) para digital, processo esse que apresentou um erro menor que 0,07mm. Por fim, avaliou-se a propagação de erros de todo o processo e verificou-se que o erro obtido na elaboração do desenho manual foi da ordem de 0,2mm.

Palavras chave: planta cadastral, qualidade geométrica do desenho

Abstract: This work presents a comparative study of the metric quality between two methods of making of a cadastral map - the manual and the digital. The metric pattern adopted as reference was a basic drawing, result of the direct mensuration in the field being used the orthogonal and the alignment methods. In the analysis of the results, two samples corresponding to the manual drawings made by two different operators were used. The geometric quality of the two drawings was then compared to the drawing made with the aid of graphic computation. To that end it was necessary to make the conversion of the analogical drawing (manual) into digital. This process presented an error smaller than $\pm 0,07\text{mm}$. Finally, the propagation of errors of the whole process was evaluated and it was verified that the error obtained in the elaboration of the manual drawing was of the order of $\pm 0,2\text{mm}$.

Keywords: Cadastral map, metric quality of the drawing

1 Introdução

No desenho de uma planta cadastral dois métodos apresentam-se como os mais utilizados: a montagem manual e a digital. Com a utilização das ferramentas computacionais o método digital vem crescendo em importância frente ao método convencional, por sua facilidade de elaboração e melhoria da precisão. Alguns estudos teóricos apresentam valores na melhoria desta qualidade. No entanto, há necessidade de verificações práticas para comprovação destes estudos.

Neste sentido este trabalho apresenta um estudo comparativo entre os dois métodos de desenho de uma planta cadastral. No primeiro método o desenho foi elaborado através das ferramentas da cartografia digital, partindo-se de um croquis básico, resultado da medição direta no terreno. No segundo método o mesmo croquis anterior foi desenhado de forma manual, utilizando-se par de esquadro, escalímetro e grafite. A Figura 1 apresenta o croquis cadastral que foi utilizado como base para essas comparações.

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos na disciplina Cartografia Cadastral, do período 99-1, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC. Esses dados podem ser acessados na home-page da disciplina.



Figura 1 : Croquis utilizado para o desenho da planta cadastral
 - clique na imagem para ampliar -

<http://geodesia.ufsc.br/aulas/cartografia-cadastral/>

2 Método

A Figura 2 apresenta um esquema com as etapas desenvolvidas na comparação entre o desenho digital e o desenho manual. Em seguida uma descrição sucinta dessas etapas.

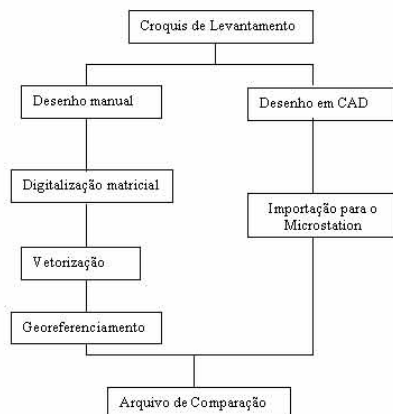


Figura 2 : Desenvolvimento das etapas do processo

2.1 Desenho Digital

O Desenho digital da planta cadastral foi realizado através de software de computação gráfica AUTOCAD-2000. Os pontos de apoio foram lançados por coordenadas, e os demais montados com as ferramentas tipo endpoint, perpendicular, distâncias, e outros.

2.2 Desenho Manual

O desenho manual da planta cadastral foi realizado por dois operadores trabalhando de forma independente, gerando assim dois desenhos. Para comparação dos dois métodos, utilizou-se o ambiente digital, por apresentar maior facilidade e precisão. Assim foi necessário transformar os desenhos analógicos (manuais) em digitais, seguindo-se as etapas apresentadas abaixo:

Etapa 2.2.1 Desenho do croquis manualmente, utilizando-se grafite 2B e HB, escalímetro e par de esquadros, sobre uma base de papel tipo "canson", na escala 1/1000.

Etapa 2.2.2 Digitalização dos desenhos manuais, utilizando-se um Scanner HP com resolução de 400 dpi (pontos por polegadas). Esta etapa gerou dois arquivos na estrutura matricial, padrão TIF.

Etapa 2.2.3 Vetorização dos arquivos matriciais, utilizando-se o software Microstation da Bentley, onde os arquivos matriciais foram ativados como referência e, processada a vetorização manual em tela, gerando pontos, linhas e polígonos.

Etapa 2.2.4 Referenciamento dos arquivos vetoriais e escalamento, utilizando-se o programa Geographics da Bentley, tendo como referência os pontos 83, 84, 92 e 652, com coordenadas fornecidas no sistema topográfico local, contido no croquis. As coordenadas desses pontos são apresentadas na Tabela 1. Utilizou-se a transformação afim no plano, com 4 pontos de apoio. O programa não apresentou o resultado do ajustamento, nem a MVC dos pontos ajustados. Foram gerados assim, dois arquivos correspondentes ao desenho manual de cada um dos operadores, e que foram comparados com o desenho digital gerado em CAD.

2.3 Comparação dos Arquivos

Diversas comparações foram realizadas na tentativa de modelar os erros e distorções observadas em cada método de desenho, conforme descritos no próximo item. Nesta etapa os arquivos foram agrupados dois a dois, em diferentes níveis de informações, contendo os pontos de apoio, lotes, construções e cercas internas. A Figura 3 apresenta o arquivo com os desenhos agrupados destacando-se os pontos e as áreas utilizadas.

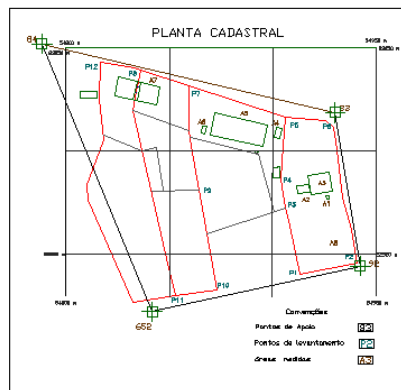


Figura 3 :Desenho com a distribuição dos pontos e áreas

3 Resultados da Comparação entre o Desenho Digital e os Desenhos Manuais

Foram realizadas comparações do arquivo correspondente ao desenho gerado em ambiente digital, com os arquivos gerados manualmente e digitalizados. Foram executadas as seguintes comparações: a) com referência aos pontos de apoio; b) com referência a pontos de levantamento; c) com referência a áreas de construções e terrenos.

3.1 Comparação com Referência aos Pontos de Apoio.

Os pontos de apoio foram lançados em planta a partir das suas coordenadas plano-retangulares. Analisou-se aqui as diferenças posicionais de cada um dos desenhos manuais digitalizados com relação ao desenho digital. As Tabelas 2 e 3 apresentam os valores das coordenadas e das diferenças posicionais obtidas pelos operadores 1 e 2, respectivamente. As diferenças de coordenadas foram calculadas tomando por base as coordenadas da Tabela 1, correspondentes ao desenho digital. Verificou-se um equilíbrio entre valores positivos e negativos, demonstrando a inexistência de erros sistemáticos. As diferenças totais calculadas corresponderam portanto às diferenças de posicionamento dos desenhos manuais em relação ao desenho digital.

Tabela 1 : Coordenadas dos pontos de apoio.

Pontos	E	N
83	54929,99	23018,63
84	54788,35	23051,78
92	54942,11	22944,48
652	54841,61	22922,42

Tabela 2 : Diferença do posicionamento dos pontos de apoio pelo operador 1.

Ponto	Operador 1		Difer. Coorden.		Dif. Total (m)
	E	N	ΔE	ΔN	
83	54929,78	23018,71	0,21	-0,08	0,224
84	54788,46	23051,74	-0,11	0,04	0,117
92	54942,35	22944,39	-0,24	0,09	0,256
652	54841,46	22922,48	0,15	-0,06	0,162
				Média:	0,190
				Desvio-padrão:	0,063

Tabela 3 : Diferença do posicionamento dos pontos de apoio pelo operador 2.

Ponto	Operador 2		Difer. Coorden.		Dif. Total (m)
	E	N	ΔE	ΔN	
83	54929,89	23018,60	0,10	0,03	0,104
84	54788,41	23051,80	-0,06	-0,02	0,063
92	54942,23	22944,52	-0,12	-0,04	0,126
652	54841,55	22922,40	0,06	0,02	0,063
				Média:	0,089
				Desvio-padrão	0,031

Considerando a escala de 1/1000 do desenho manual, tem-se os seguintes valores gráficos referentes às diferenças de posicionamento dos pontos de apoio: Para o operador 1 - de 0,117mm a 0,256mm, com média de 0,190mm e desvio padrão de 0,063mm;

Para o operador 2 - de 0,063mm a 0,126mm, com média de 0,089mm e desvio padrão de 0,031mm.

3.2 Comparação com Referência aos Pontos de Levantamento.

As Tabelas 5 e 6 apresentam as diferenças do posicionamento em alguns pontos de levantamento lançados a partir dos correspondentes elementos de medição, pelos operadores 1 e 2 respectivamente. As comparações foram realizadas em relação aos pontos homólogos do desenho digital, cujas coordenadas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 : Coordenadas de pontos de levantamento do desenho digital.

Ponto	E	N
P1	54913.46	22940.63
P2	54940.16	22945.83
P4	54903.79	22986.97
P5	54906.17	23016.04
P6	54929.60	23012.25
P7	54859.62	23031.30
P10	54872.46	22932.64
P11	54852.24	22929.96
P12	54816.12	23043.07

Tabela 5 : Diferença do posicionamento dos pontos de levantamento pelo operador 1.

Ponto	Operador 1		Difer. Coorden.		Dif. Total (m)
	E	N	ΔE	ΔN	
P1	54913.02	22940.66	0.44	-0.03	0.441
P2	54940.45	22945.92	-0.29	-0.09	0.304
P4	54903.95	22986.53	-0.16	0.44	0.468
P5	54906.11	23016.09	0.06	-0.05	0.078
P6	54929.31	23011.67	0.29	0.58	0.648
P7	54859.61	23031.32	0.01	-0.02	0.022
P10	54872.99	22933.02	-0.53	-0.38	0.652
P11	54852.66	22930.04	-0.42	-0.08	0.428
P12	54816.40	23042.72	-0.28	0.35	0.448
				Média:	0.388
				Desvio-padrão:	0.220

Tabela 6 : Diferença do posicionamento dos pontos de levantamento pelo operador 2.

Ponto	Operador 2		Difer. Coorden.		Dif. Total (m)
	E	N	ΔE	ΔN	
P1	54913.56	22940.38	-0.10	0.25	0.269
P2	54940.27	22945.75	-0.11	0.08	0.136
P4	54903.86	22987.02	-0.07	-0.05	0.086
P5	54906.13	23016.17	0.04	-0.13	0.136
P6	54929.31	23012.22	0.29	0.03	0.292
P7	54859.52	23031.29	0.10	0.01	0.100
P10	54872.32	22932.60	0.14	0.04	0.146
P11	54851.89	22929.86	0.35	0.10	0.364
P12	54816.08	23043.18	-0.04	-0.11	0.117
				Média:	0.183
				Desvio-padrão:	0.099

Considerando a escala de 1/1000 do desenho manual, tem-se os seguintes valores gráficos referentes às diferenças de posicionamento dos pontos de levantamento:

Para o operador 1 - de 0,022mm a 0,652mm, com média de 0,388mm e desvio padrão de 0,220mm;
 Para o operador 2 - de 0,086mm a 0,364mm, com média de 0,183mm e desvio padrão de 0,099mm.

Os testes realizados não fornecem com clareza a quantificação dos erros obtidos na construção de um desenho manual em comparação com o mesmo desenho gerado em CAD. A estes erros de construção soma-se os erros proveniente do processo de digitalização, necessário aqui para efetuar as comparações no ambiente digital

3.3 Comparação com Referência às Áreas.

Em seguida foram realizadas comparações entre áreas de construções e terrenos do desenho. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos. As áreas no desenho digital foram calculadas pelo sistema CAD usado, e consideradas como padrão. As áreas homólogas nos desenhos manuais foram calculadas pelo mesmo sistema CAD a partir dos correspondentes arquivos vetorizados. As diferenças percentuais foram calculadas em relação às áreas do desenho digital. As figuras foram escolhidas de forma a representar toda a região desenhada e com diferentes tamanhos.

Tabela 7 : Comparação de áreas.

Área	Desenho. Digital	Operador 1	Difer. (%)	Operador 2	Difer. (%)
	Área (m2)	Área (m2)		Área (m2)	
A1	1.514	1.960	29.46	1.653	9.18
A2	23.976	23.015	-4.01	23.986	0.04
A3	95.940	97.489	1.61	96.129	0.20
A4	14.524	13.252	-8.76	15.346	5.66
A5	266.845	277.421	3.96	265.694	-0.43
A6	6.859	7.310	6.58	7.151	4.26
A7	188.489	188.780	0.15	187.205	-0.68
A8	1949.310	1973.214	1.23	1960.893	0.59

4 Erro do Desenho Manual

As comparações realizadas no item 3 indicaram um erro total correspondente ao do desenho manual e ao processo de digitalização utilizado. Assim, para investigar as diferenças da qualidade geométrica entre o desenho manual e o desenho digital os erros da confecção dos desenhos devem ser avaliados isoladamente, excluindo-se todos os demais. O montante desse erro, pode ser investigado estatisticamente através da propagação de erros com variáveis independentes, através da expressão:

assim,

$$\Sigma T = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

sendo,

ΣT : erro total do processo

σ_1 : erro no processo de digitalização

σ_2 : erro na confecção do desenho manual exclusivamente

Ou seja, para determinar o erro na confecção do desenho isoladamente, há necessidade de extrair do erro total do processo os erros cometidos no processo de digitalização que converteu os desenhos analógicos em digitais

4.1 Erros no Processo de Digitalização

O desenho gerado manualmente passou por um processo de digitalização, consistindo nas etapas de digitalização matricial, vetorização e georeferenciamento. Cada etapa desta agregou um erro ao desenho manual. Na impossibilidade de se avaliar estes erros isoladamente buscou-se sua determinação de forma agrupada. Para tanto, comparou-se o desenho digital gerado pelo CAD com o mesmo desenho gerado em CAD só que plotado, rasterizado, vetorizado e referenciado. Desta forma, gerou-se dois arquivos digitais, ambos provenientes do desenho em CAD, sendo que um foi direto e o outro passou por diversos processamentos. As etapas desse processo foram:

Etapa 4.1.1 Plotagem do arquivo CAD utilizando impressora HP com resolução de 600x600 dpi.

Etapa 4.1.2 Digitalização matricial da planta plotada de forma similar ao descrito na etapa 2.2.2.

Etapa 4.1.3 Vetorização de forma similar ao descrito na etapa 2.2.3.

Etapa 4.1.4 Referenciamento de forma similar ao descrito na etapa 2.2.4.

Cabe ressaltar que o processo de plotagem executado com o arquivo digital CAD não foi executado no desenho manual do croquis, portanto não deveria existir tal etapa para a correta comparação. Na impossibilidade de se transformar o arquivo CAD digital em analógico sem o uso da plotagem e, tendo em vista o baixo valor do erro cometido nesta etapa (menor que de 0,1 mm segundo BAHF-1999), optou-se por adotá-lo.

Portanto, a comparação entre esses dois arquivos resultaram no erro cometido no processo de digitalização acrescido de uma pequena componente da plotagem.

As Tabelas 8 e 9 apresentam esses erros com relação aos pontos de apoio e aos pontos de levantamento, respectivamente. As diferenças de coordenadas da Tabela 8 foram calculadas com relação às coordenadas das Tabelas 1. Na Tabela 9 as mesmas diferenças foram calculadas com relação às coordenadas Tabela 4.

Tabela 8 : Erros no processo de digitalização dos pontos de apoio.

Ponto	Coord. Des. Plotado		Difer. Coorden.		Dif. Total (m)
	E	N	ΔE	ΔN	
83	54929.97	23018.68	0.02	-0.05	0.054
84	54788.36	23051.75	-0.01	0.03	0.032
92	54942.14	22944.42	-0.03	0.06	0.067
652	54841.59	22922.46	0.02	-0.04	0.045
				Média:	0.049
				Desvio-padrão:	0.015

Tabela 9 : Erros no processo de digitalização dos pontos de levantamento.

Ponto	Coord. Des. Plotado		Difer. Coorden.		Dif. Total (m)
	E	N	ΔE	ΔN	
P1	54913.49	22940.61	-0.03	0.02	0.036
P2	54940.19	22945.90	-0.03	-0.07	0.076
P4	54903.83	22987.07	-0.04	-0.10	0.108
P5	54906.20	23016.14	-0.03	-0.10	0.104
P6	54929.55	23012.34	0.05	-0.09	0.103
P7	54859.56	23031.35	0.06	-0.05	0.078
P10	54872.53	22932.68	-0.07	-0.04	0.081
P11	54852.29	22930.03	-0.05	-0.07	0.086
P12	54816.04	23043.15	0.08	-0.08	0.113
				Média:	0.087
				Desvio-padrão:	0.024

Considerando a escala do desenho de 1/1000, verificou-se que esse erro foi da ordem de 0,1mm no máximo. Entre os pontos de apoio o erro foi abaixo de 0,7mm. No entanto, entre os pontos de levantamento, observou-se uma predominância de valores negativos principalmente nas diferenças das coordenadas "N", o que pode indicar a presença de algum erro sistemático. Provavelmente esse erro foi decorrente do processo de plotagem do desenho digital.

4.2 Erro do Desenho Manual nos Pontos de Apoio

Os pontos de apoio foram marcados a partir das suas coordenadas plano-retangulares. Adotando os valores máximos de diferenças gráficas nos pontos de apoio, considerando as amostras dos dois operadores, tem-se:

$\Sigma T = 0,256 \text{ mm}$, o valor máximo de erro total

$\sigma_1 = 0,067 \text{ mm}$, o valor máximo do erro de digitalização

σ_2 : erro na confecção do desenho manual exclusivamente

assim,

$$\sigma_2 = \sqrt{(0,256)^2 - (0,067)^2}$$

$$\sigma_2 = 0.247 \text{ mm}$$

foi o erro máximo obtido na elaboração do desenho manual para os pontos de apoio lançados por coordenadas plano-retangulares, utilizando escalímetro, grafite 2-B e par de esquadro.

4.3 Erro do Desenho Manual nos Pontos de Levantamento

Os pontos de levantamento são amarrados nos pontos de apoio, e marcados a partir dos correspondentes elementos de medição. Adotando-se procedimento análogo ao que foi realizado com os pontos de apoio, ou seja, adotando-se os valores máximos de diferenças gráficas, tem-se:

$\Sigma T = 0,652 \text{ mm}$, o valor máximo de erro total

$\sigma_1 = 0,113 \text{ mm}$

σ_2 = erro na confecção do desenho manual exclusivamente

assim,

$$\sigma_2 = \sqrt{(0,652)^2 - (0,113)^2}$$

$$\sigma_2 = 0.691 \text{ mm}$$

foi o erro máximo obtido na elaboração do desenho manual para pontos de levantamento lançados a partir de seus elementos de medição, utilizando escalímetro, grafite 2-B e par de esquadro.

5 Considerações Finais

O desenho digital com base nos croquis de levantamentos foi mais preciso que o desenho manual. Apesar de todo cuidado e procedimento para minimizar os erros cometidos nos desenhos manuais, estes erros ficaram condicionados à capacidade humana de identificação, medição e traçado gráfico.

O processo manual de confecção da planta cadastral é delicado e trabalhoso em comparação com o processo digital. Com isso, o operador deve ser qualificado e com bastante experiência na compreensão dos símbolos utilizados e na execução do desenho manual. Neste trabalho por exemplo, verificou-se que os resultados obtidos pelo operador 2 foi de aproximadamente duas vezes melhor em relação ao operador 1.

O desenho manual realizado nos pontos de apoio, a partir das coordenadas plano-retangulares, apresentou uma qualidade, no mínimo duas vezes melhor quando comparadas com o desenho dos pontos de levantamento. Esse resultado era esperado, uma vez que os pontos de levantamento estão amarrados aos pontos de apoio. Além disso, para a sua marcação foram necessários pelo menos mais duas medidas, ocasionando assim um erro maior.

As diferenças de área apresentaram resultados que não indicaram tendência de erro sistemático. Observou-se no entanto que as maiores diferenças relativa ocorreram nos elementos de menores dimensões.

O desenho digital em software de computação gráfica minimizou os erros gráficos tornando as informações geométricas mais precisas na elaboração da planta cadastral.

A etapa de plotagem apresenta erros menores que 0,1mm segundo a bibliografia consultada, não contribuindo significativamente para a ineficiência do método utilizado neste trabalho.

Na análise da qualidade do desenho manual, utilizou-se os piores resultados obtidos nas observações realizadas, permitindo assim uma avaliação mais realista. As maiores diferenças encontradas nas diversas comparações foi de aproximadamente 0,6mm. Esse valor elevado deve-se possivelmente à pouca prática do operador 1 e à própria construção e localização dos pontos P6 e P10, uma vez que foram necessários realizar 3 medidas para a marcação de cada um deles.

Os melhores valores observados foram provenientes da comparação dos pontos de apoio, lançados por coordenadas. Apesar desses pontos serem de ordem superior aos demais, o erro gráfico de um ponto lançado por coordenadas é menor que os erros causados pela marcação de pontos utilizando-se distâncias e alinhamentos.

6 Bibliografia

BÄHR, Hans Peter. VÖGTLE, Thomas: Gis for environmental monitoring. E. Schweizerbart'sche. Verlagsbuch handlung. Stuttgart – 1999

GEMAEI, Camil: Introdução ao ajustamento de observação. Aplicações Geodésicas. Editora da UFPR – 1994 – PR.

LEAL, Evilázio da Mota: Análise da qualidade posicional em bases cartográficas geradas em CAD. Dissertação de mestrado. CPGCC – UFPR. 1998.

PHILIPS, Jürgen: Notas de aula. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 1999 – Florianópolis – SC.

THAPA, K. BOSSLER, J: Accuracy of spatial data used in Geographic Information Sustersms. PE&RS. Vol. 58 nº 06.

ESTUDO DE PRECISÃO NA ELABORAÇÃO DOS DESENHOS CARTOGRÁFICOS

Ronaldo dos Santos da Rocha - Artur Caldas Brandão - Jürgen Phillips

<http://geodesia.ufsc.br/aulas/cartografia-cadastral/>

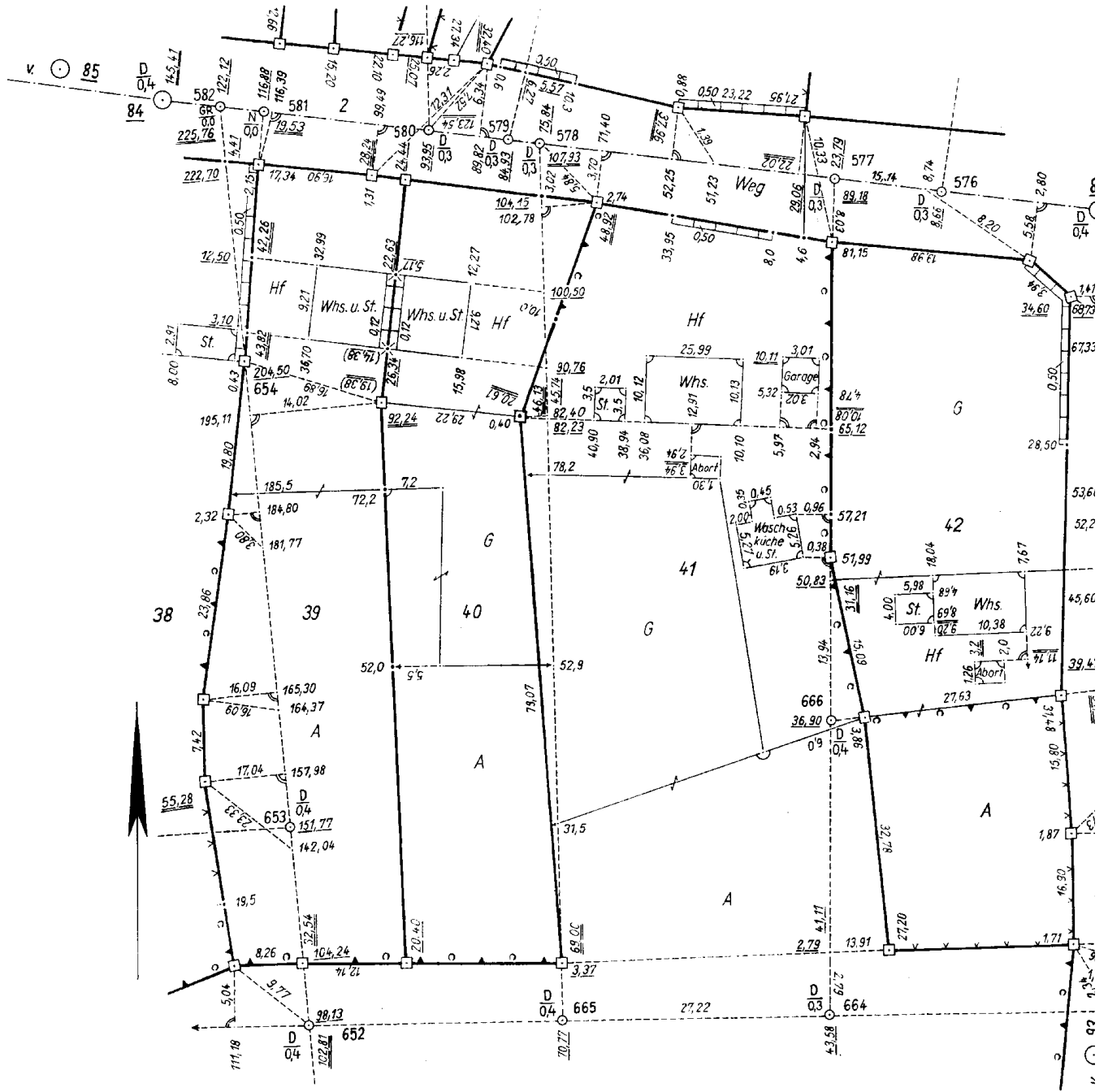


Figura 1 - Croquis utilizado para o desenho da planta cadastral