



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
OBSERVATÓRIO DO VALONGO

PROJETO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ASTRÓNOMO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ASTROMETRIA

TÍTULO:

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO PONTO
DE TANGÊNCIA EM PLACAS FOTOGRÁFICAS

AUTOR:

EDUARDO AUGUSTO NOVO MACHADO

ORIENTADOR:

GILSON GOMES VIEIRA

RIO DE JANEIRO - JULHO DE 1989

RESUMO:

Este trabalho tem como objetivo principal a determinação do ponto em uma placa fotografica (ponto de tangencia) correspondente ao ponto em que o eixo optico da objetiva de telescopios selecionados intercepta a esfera celeste. A abordagem teorica do metodo de resolucao do problema consta na tese de mestrado de G. G. Vieira [1], que deve servir como introducao/complemento as situacoes aqui descritas.

INDICE:

	Pg.
1. INTRODUCAO	3
2. METODOLOGIA GERAL DE PESQUISA	4
3. APLICACAO AO ASTROGRAFO DA E. A. M. DE CAMPINAS	8
4. APLICACAO AO GPO DO E. S. O.	16
5. APLICACAO AO ASTROGRAFO DUPLO DO O. R. DE BELGIQUE	20
6. APLICACAO AO TELESCOPIO DE 1.60 m DO L. N. A.	24
7. CONCLUSOES FINAIS	26
8. REFERENCIAS E BIBLIOGRAFIA	28
9. APENDICE	29

INTRODUCAO:

E' fato que em astrometria a necessidade da obtencao de resultados confiaveis em curto espaco de tempo torna-se um fator relevante, notadamente quando estamos tratando com astros desconhecidos.

Visando conseguir maior precisao e rapidez na obtencao das coordenadas equatoriais celestes de astros de interesse, sobretudo no campo da descoberta e acompanhamento de asteroides e cometas dada a vantagem que o metodo proporciona, procurou-se orientar o trabalho na selecao de placas dos telescopios mais usados em pesquisas no Observatorio do Valongo, a saber:

- 1) da Estacao Astronomica Municipal de Campinas.
- 2) do European Southern Observatory (E.S.O.).
- 3) do Observatoire Royale de Belgique.
- 4) do Laboratorio Nacional de Astrofisica (L.N.A.).

O trabalho portanto, constitui-se de quatro partes basicas, independentes entre si, provenientes dos quatro telescopios pesquisados onde sao fornecidos todos os passos da pesquisa, com diagramas das placas utilizadas, suas estrelas de base e seus resultados intermediarios.

Sempre que possivel procurou-se tirar conclusoes secundarias, consequencia do objeto de pesquisa, bem como o intervalo de validade do proprio metodo, visando nao somente proporcionar embasamento experimental para futuras pesquisas teoricas como tambem servir de partida para experiencias mais minuciosas e depuradas, de maior abrangencia.

METODOLOGIA GERAL DE PESQUISA:

Para os varios telescopios objeto de pesquisa procurou-se reunir uma determinada quantidade de placas fotograficas disponiveis no acervo do Observatorio do Valongo.

A escolha de placas obedeceu a criterios tais como: numero de estrelas catalogadas na placa, nitidez, placas proximas ao zenite, entre outros.

De posse destas placas, determinaram-se as coordenadas (x,y) das estrelas de referencia atraves do coordenatografo Zeiss Jena do Observatorio do Valongo, atentando para detalhes como: precisao na leitura, escolha de estrelas puntuais (de alta magnitude) e de facil identificacao, ate perfazer um total minimo predefinido de estrelas por lote de placas.

Em virtude dos inevitaveis erros que ocorrem na leitura de placas fotograficas em um coordenatografo e a necessidade de se trabalhar com estrelas bem lidas procurou-se, via computador, ajustar grupos de estrelas (estrelas de base) ao polinomio do metodo dos minimos quadrados (Debehogne [2]), com o objetivo de encontrar estrelas com residuos acima de $0.7''$ as quais seriam excluidas do processo de pesquisa, mantendo-se as demais.

A razao de se escolher tal limite de residuo deve-se aos seguintes fatores:

- 1) A precisao em alfa e delta do catalogo utilizado (SA0) [3], que nao e inferior a $0.45''$.
- 2) A propagacao de erros pela imprecisao do movimento proprio das estrelas atraves da epoca do catalogo (1950.0). Estimou-se que este erro nao e superior a $0.25''$ nos piores casos.

Ao somarmos os erros acima, concluimos que a maxima precisao obtida na determinacao das coordenadas das estrelas por esse catalogo deve se situar em torno de $0.7''$.

Sendo assim, um astro que apresente um residuo superior a este esta', em principio, mal determinado.

Deve-se ressaltar que a exclusao de uma estrela envolve um processo criterioso de escolha, pois sabe-se da influencia que as estrelas da placa exercem entre si durante o ajustamento polinomial, notadamente se suas coordenadas de placa sao proximas e/ou se estao situadas na periferia da mesma. Por isso, e' possivel que uma estrela que tenha sido realmente bem determinada sofra uma influencia negativa de uma ma' determinada acarretando um residuo alto para a primeira e levando-nos a excluir ambas.

Tendo em vista este problema, a cada rodagem do programa que utilizamos para calcular os residuos optamos por remover, se necessario, uma ou duas estrelas no maximo e checar os resultados. Caso os residuos em geral nao diminuisssem, reintroduzimos esta(s) estrelas e removemos outras ate' que os residuos tivessem sido diminuidos. O processo de remocao se repetiu ate' que todas as estrelas estivessem dentro dos valores de residuos desejados.

Convem observar tambem que uma estrela tera' maior influencia no resultado quanto menor for o grupo de estrelas ajustado. Isto requer atencao redobrada no metodo acima a medida que o numero de estrelas for diminuindo.

Uma vez que o centro otimo da placa (ponto de tangencia) e' uma variavel a ser determinada, e' possivel que o processo de sua determinacao seja recursivo, ou seja, que a descoberta deste centro dependa da precisao de um centro previo fornecido pelo observador. Normalmente este ultimo e' impreciso para nossos propositos por questoes que envolvem a propria escala de alfa e delta dos circulos de calagem dos telescopios, que e' extremamente grosseira, sendo que a melhoria da precisao do centro dado pelo observador atraves de procedimentos alternativos geralmente consome parte do tempo destinado a propria observacao. Por outro lado, sabe-se que o polinomio interpolador a termos de primeiro grau nao corrige erros introduzidos pela imprecisao na posicao do ponto de tangencia, embora leve a resultados toleraveis quando esta imprecisao for pequena, o que nao pode ser garantido a priori. Questoes como essas levaram-nos a optar pela utilizacao do polinomio a termos de segundo grau

(que corrige erros introduzidos pela imprecisao no ponto de tangencia de qualquer grandeza) no nosso programa de selecao de estrelas, o que nos deixa com um grupo de estrelas realmente homoganeo.

Esta opcao nao invalida a aplicacao do metodo a termos de primeiro grau mas somente o depura.

Terminado o processo de selecao de estrelas de baixo residuo levamos estas a um programa que, a partir de um conjunto de estrelas de base e centro qualquer, busca automaticamente um centro otimo (ponto de tangencia experimental da placa), que corresponda a menor soma dos quadrados dos residuos para as estrelas de base (ver [1]).

Atraves da media aritmetica dos centros otimos de todas as placas selecionadas de cada telescopio achamos o ponto de tangencia experimental do mesmo, dado em coordenadas de placa (x,y). Este valor sera' doravante utilizado como centro experimental das placas do telescopio em trabalhos que envolvam sua utilizacao.

Com esses centros e a distancia focal dos telescopios nao sera' mais necessario que o observador, ao fazer sua exposicao na placa, se preocupe em demasia com a precisao de alfa e delta de sua calagem, bastando apenas colocar os astros de interesse no campo da placa, pois as coordenadas de alfa e delta do centro da placa nao serao mais relevantes para a determinacao das coordenadas de um astro desconhecido.

Analiticamente temos:

Seja E a escala de placa de um telescopio de distancia focal F. Entao:

$$E = \arctg (1/F) \quad \Rightarrow \quad \text{em graus/mm}$$

Seja A_i e D_i as coordenadas equatoriais celestes de uma estrela i com coordenadas de placa x_i e y_i . Seja x_0 e y_0 as coordenadas do centro da placa dadas pelo nosso metodo. Podemos calcular as coordenadas A_0 e D_0 do centro da placa facilmente:

$$A_o = A_i + ((x_i - x_o) \cdot E)$$
$$D_o = D_i + ((y_i - y_o) \cdot E)$$

A precisao na determinacao destes valores e' muito superior a normalmente obtida atraves da leitura dos circulos graduados de calagem do telescopio, mesmo se considerarmos que a estrela i esteja na periferia da placa.

Deve-se ressaltar que o coordenatografo do Observatorio do Valongo fornece para o centro geometrico de uma placa as coordenadas $(x,y) = (500mm,200mm)$, que e' a distancia a origem dos eixos de referencia do instrumento. Em consequencia, os pontos de tangencia experimentais fornecidos deverao se encontrar relativamente proximos deste valor se o conjunto telescopio/chassis/placa estiver bem ajustado.

Nos resultados a seguir, a dispersao dos resultados entre grupos de estrelas de uma placa e entre placas e' igualmente fornecida em milimetros e serve como indicativo da precisao da experiencia.

APLICACAO AO ASTROGRAFO DA E. A. M. DE CAMPINAS:

1. Instrumento: Astrografo Zeiss, $f=2m$, $d=40cm$

2. Metodologia de pesquisa:

Possuindo vasta quantidade de placas no acervo do Observatorio do Valongo, este telescopio foi motivo de uma pesquisa rigorosa e sistematica na determinacao de seu ponto de tangencia experimental pois boa parte do andamento de pesquisas em astrometria neste local provem de placas desse telescopio.

Esta parte do trabalho e' uma redeterminacao experimental com maior numero de placas e estrelas do ponto de tangencia do telescopio encontrado por G. G. Vieira [1].

Na selecao de placas deste telescopio propositalmente incluimos as mesmas utilizadas em [1] com a adicao de mais algumas que consideramos adequadas devido a fatores ja' mencionados. Achamos que um total de seis placas seria ideal para nossos propositos pois representaria uma estimativa de resultados bastante confiavel.

Dada a grande quantidade de estrelas disponiveis por placa, e' de se esperar que a influencia individual de uma estrela na descoberta do ponto de tangencia seja minima se ela nao estiver muito fora do ajustamento pelo polinomio interpolador. Em contrapartida, se o ajustamento for pobre (muitas estrelas com residuos altos), a deterioracao do metodo e' inevitavel. A experiencia sugere que nao se tenha estrelas com residuos em alfa ou delta maiores que $0.7''$ nos grupos selecionados, embora neste caso particular, apos a selecao previa das estrelas tenhamos tolerado uma ou outra estrela com residuo entre $0.7''$ e $1.0''$ afim de obtermos placas com igual numero de estrelas selecionadas, fixada a priori em 25 estrelas por placa, o que possibilita uma boa permutacao de grupos de base sem excessiva redundancia.

Para cada placa foram determinados nove pontos de tangencia otimos, utilizando-se grupos de estrelas da placa conforme a seguir:

- * 1 pto. de tangencia com todas as estrelas da placa (25).
- * 8 ptos. de tangencia com 10 estrelas, cada estrela pertencendo a, no minimo, tres e, no maximo, quatro grupos de base atraves de permutacoes sistematicas.

O ponto de tangencia experimental da placa foi obtido atraves da media aritmetica dos nove pontos primitivos.

Naturalmente a media ponderada poderia ter sido utilizada, nao sendo feita por simplificacao de calculos visto que somente um grupo de base e' distinto dos demais.

Os resultados intermediarios por placa sao dados a seguir e os diagramas com a disposicao das estrelas escolhidas em cada experimento fazem parte do apendice do trabalho.

PLACA NUMERO: 0055 (COD. O. V.)

GRUPO	NUMERO DE		COORD. DE PLACA		DISPERSAO DE RESULT.	
	ESTRELAS		x	y	em x	em y
1	25		501	201		
2	10		501	201		
3	10		497	203		
4	10		503	204		
5	10		503	196		
6	10		494	195		
7	10		502	203		
8	10		497	198		
9	10		506	197		
=====						
RESULTADO (PTO. DE TANG. EXP. DA PLACA)->			500	200	3.7	3.3

PLACA NUMERO: 0063 (COD. O. V.)

GRUPO	NUMERO DE		COORD. DE PLACA		DISPERSAO DE RESULT.	
	ESTRELAS		x	y	em x	em y
1	25		500	211		
2	10		505	207		
3	10		507	208		
4	10		500	210		
5	10		499	216		
6	10		505	210		
7	10		496	214		
8	10		499	209		
9	10		507	211		
=====						
RESULTADO (PTO. DE TANG. EXP. DA PLACA)->			502	211	4.0	2.8

PLACA NUMERO: 0065 (COD. O. V.)

GRUPO	NUMERO DE ESTRELAS	COORD. DE PLACA		DISPERSAO DE RESULT.	
		x	y	em x	em y
1	25	497	209		
2	10	496	212		
3	10	493	207		
4	10	499	210		
5	10	499	208		
6	10	498	211		
7	10	503	206		
8	10	497	211		
9	10	495	208		
RESULTADO (PTO. DE TANG. EXP. DA PLACA)->		497	209	2.8	2.0

PLACA NUMERO: 0070 (COD. O. V.)

GRUPO	NUMERO DE ESTRELAS	COORD. DE PLACA		DISPERSAO DE RESULT.	
		x	y	em x	em y
1	25	490	204		
2	10	489	203		
3	10	492	204		
4	10	489	210		
5	10	492	205		
6	10	490	202		
7	10	490	206		
8	10	491	205		
9	10	489	211		
RESULTADO (PTO. DE TANG. EXP. DA PLACA)->		490	206	1.2	3.0

PLACA NUMERO: 0080 (COD. 0. V.)

GRUPO	NUMERO DE ESTRELAS	COORD. DE PLACA x	y	DISPERSAO DE RESULT. em x	em y
1	25	510	205		
2	10	507	206		
3	10	509	202		
4	10	509	206		
5	10	509	206		
6	10	512	197		
7	10	512	204		
8	10	506	215		
9	10	506	205		
RESULTADO (PTO. DE TANG. EXP. DA PLACA)->		509	205	2.3	4.4

PLACA NUMERO: 0082 (COD. 0. V.)

GRUPO	NUMERO DE ESTRELAS	COORD. DE PLACA x	y	DISPERSAO DE RESULT. em x	em y
1	25	504	202		
2	10	504	202		
3	10	505	202		
4	10	509	203		
5	10	504	201		
6	10	503	203		
7	10	504	209		
8	10	503	198		
9	10	505	203		
RESULTADO (PTO. DE TANG. EXP. DA PLACA)->		505	203	1.8	2.9

3. Resultados finais e conclusões:

A seguir são reunidas as características e os resultados finais obtidos por placa.

PLACA NUMERO (COD. O. V.)	RESIDUO MAX. EM 1 ESTRELA	COORD. DE PLACA		DISPERSAO DE RESULT.	
		x	y	em x	em y
0055	0.98"	500	200	3.7	3.3
0063	0.67"	502	211	4.0	2.8
0065	0.72"	497	209	2.8	2.0
0070	0.55"	490	206	1.2	3.0
0080	0.53"	509	205	2.3	4.4
0082	0.77"	505	203	1.8	2.9
RESULTADO FINAL (PTO. DE TANGENCIA EXPERIMENTAL)		501	205	6.4	4.0

Como o telescópio sob pesquisa possui uma distância focal relativamente curta (2 metros), os resultados encontrados por placa não diferiram em mais do que da ordem de 10 mm. do centro geométrico da placa, ficando o resultado geral apenas a 5 mm. deste, sendo as dispersões compatíveis com os resultados.

Vamos analisar a situação sob o ponto de vista de König [4]. Segundo ele, uma imprecisão na determinação do ponto de tangência de uma placa (tilt) acarreta um erro na determinação das coordenadas de placa de uma estrela que é proporcional à distância desta ao próprio ponto de tangência. Em suma, quanto mais próxima do centro mais independente será da precisão daquele.

Em princípio, os erros podem ser dados por:

$$\Delta x = (px + qy)x$$

$$\Delta y = (px + qy)y$$

onde Δx , Δy são os erros nas coordenadas x e y ; p e q são os erros do ponto de tangência em x e y respectivamente e x e y são as coordenadas de placa do astro.

Vamos exemplificar uma situacao sugerida por Konig assumindo por simplicidade que $q=0$ e trabalhando na coordenada x . Desta forma temos:

$$\Delta x = p x^2$$

Consideremos agora uma estrela situada na borda da placa, que e' o caso mais critico em termos de precisao do ponto de tangencia. Qual seria o erro p em milímetros que podemos ter na determinacao do ponto de tangencia tal que o erro Δx cometido na determinacao das coordenadas de placa da estrela nao seja superior a 0.01 mm ?

Obs.: 0.01 mm ou 10 μ m e' o erro medio de leitura cometido por um astronomo no coordenatografo Zeiss.

Rearrmando a formula temos:

$$p = \Delta x / x^2$$

Para expressarmos p diretamente em segundos de arco e' necessaria uma transformacao da formula que pode ser escrita como:

$$p (") = 4.25 \cdot 10^{10} \cdot \Delta x (") / [x (")]^2$$

Introduzindo a escala de placa E temos p em mm.

$$p (mm) = p (") / E$$

No caso de Campinas, temos $f=2m$, o que nos leva a uma escala de placa de 103"/mm. Como as placas utilizadas sao de 16cm X 16 cm, temos um campo de 4° X 4°. Uma estrela na borda da placa esta' a 2° do centro o que corresponde a 7200". Entrando com os dados na ultima formula temos:

$$\Delta x = 0.01 \text{ mm} \Rightarrow x (") = 0.01 \text{ mm} \cdot 103"/\text{mm} = 1"$$

$$p (") = 4.25 \cdot 10^{10} \cdot 1" / (7200")^2 = 820"$$

$$p (mm) = 820" / 103"/\text{mm} = 8 \text{ mm}$$

Ou seja, podemos ter um tilt de 14' ou 8 mm.

Consideremos tambem o erro p em mm que se pode ter na determinacao do ponto de tangencia devido ao erro na determinacao das coordenadas equatoriais introduzido pelo catalogo utilizado (SAO) [3] que como vimos e' de aproximadamente 0.7".

Se a estrela estiver na borda da placa temos:

$$p (") = 4.25 \cdot 10^{10} \cdot 0.7" / (7200")^2 = 574"$$
$$p (mm) = 574" / 103"/mm = 5.5 \text{ mm}$$

Somando-se os erros acima, vemos que uma imprecisao de 23' ou 13.5 mm na determinacao do ponto de tangencia e' totalmente aceitavel. Portanto a utilizacao do metodo, cujo resultado implica num afastamento do centro geometrico menor do que este valor, e' justificado no sentido de fornecer um valor bastante confiavel na estimativa do ponto de tangencia, sobretudo se sabemos que a precisao dos circulos de calagem do telescopio utilizado e' da ordem de 1° ou aproximadamente tres vezes a precisao necessaria ao ponto de tangencia para que ele nao interfira diretamente nos resultados da reducao da placa.

APLICACAO AO GPO DO E. S. O. :

1. Instrumento: GPO, $f=4m$, $d=40cm$

2. Metodologia de pesquisa:

Varios pontos de interesse cientifico surgiram quando do inicio da pesquisa do ponto de tangencia das placas desse telescopio. Tratando-se de um telescopio de grande focal (4 metros) teria validade o metodo utilizado? Ate' que ponto a precisao das medidas das coordenadas de placa (x,y) influenciaria no calculo do ponto de tangencia? Sendo um aparelho de grande porte, estaria ele sujeito a flexao conforme a inclinacao de seu sistema mecanico?

Obviamente a validade do metodo so' seria comprovada apos os testes. Quanto a precisao das medidas, elas seriam evidentemente boas, dentro do limite de precisao do catalogo utilizado, pois o campo pequeno facilita a tarefa de leitura, embora tivessesemos que nos contentar com poucas estrelas por placa.

Quanto a possivel questao da flexao do telescopio, concluiu-se que, se ela existisse, seria no sentido da declinacao, pois razoes de construcao nao permitiriam que o aparelho fletisse em outra direcao. Baseado nisto, fez-se uma busca sistematica no acervo de placas do Observatorio do Valongo tentando achar placas nas proximidades do meridiano e com alturas diversas com o objetivo de determinarmos, no conjunto de pontos de tangencia por placa, uma dispersao de resultados que fosse muito maior na coordenada y (declinacao) do que na coordenada x (ascensao reta), o que garantiria realmente a existencia de uma flexao nessa coordenada.

Utilizou-se de um conjunto de seis placas previamente escolhidas e com estrelas selecionadas. Dada a reduzida e diferente quantidade de estrelas por placa e pelo fato de que a validade do metodo e' contestavel se reduzirmos

demasiadamente seu numero de estrelas de base (o peso de uma estrela na descoberta do ponto de tangencia passa a ser significativo), e tambem porque, com poucas estrelas, a permuta destas em grupos menores de base levaria a uma redundancia indesejavel de resultados, optamos pela determinacao um unico ponto de tangencia por placa utilizando-se todas as estrelas desta conforme a tabela abaixo.

PLACA NUMERO (COD. O. V.)	NUM DE ESTRELAS SELEZIONADAS	RESIDUO MAX. EM 1 ESTRELA	AZIMUTE GRAUS	ALTURA GRAUS
2884	9	0.54"	341	56
3588	10	0.36"	13	62
3830	15	0.54"	342	35
3876	14	0.57"	357	37
4695	10	0.55"	4	48
5263	11	0.55"	346	52

No apendice sao fornecidos a disposicao das estrelas selecionadas em cada placa.

3. Resultado final e conclusões:

PLACA NUMERO (COD. O. V.)	COORD. DE PLACA x	y	DISPERSAO DE RESULT. em x	em y
2884	512	169		
3588	485	230		
3830	444	246		
3876	512	225		
4695	527	259		
5263	462	222		
RESULTADO FINAL (PTO. DE TANGENCIA EXPERIMENTAL)	→ 490	225	32	31

Procedendo a um raciocinio analogo ao do telescopio de Campinas e utilizando as mesmas formulas, vamos calcular o erro p em mm que podemos ter no ponto de tangencia para a situacao das placas do E. S. O.:

Dados placa 16cm X 16cm e f=4m temos a escala de placa de 51"/mm e o campo 2° X 2°. Para uma estrela na borda da placa temos:

$$\Delta x (") = 0.01 \text{ mm} \cdot 51"/\text{mm} = 0.5"$$

$$p (") = 4.25 \cdot 10^{10} \cdot 0.5" / (3600")^2 = 1639"$$

$$p (\text{mm}) = 1639" / 51"/\text{mm} = 32 \text{ mm}$$

Ou seja, podemos ter um tilt de 27' ou 32 mm

Consideremos tambem o erro p permitido devido a imprecisao do catalogo sobre as coordenadas de uma estrela. Seja a estrela na borda da placa, entao:

$$p (") = 4.25 \cdot 10^{10} \cdot 0.7" / (3600")^2 = 2295"$$

$$p (\text{mm}) = 2295" / 51"/\text{mm} = 45 \text{ mm}$$

Somando-se os erros acima obtem-se uma imprecisao tolerada no ponto de tangencia de 1° 05' ou 77mm que e' quase a propria dimensao do semi-lado da placa. Em suma, praticamente qualquer ponto da placa pode ser considerado um ponto de tangencia aceitavel sem que isso modifique

substancialmente os resultados da reducao da placa. Sendo assim, a utilizacao do metodo, embora valido, a rigor praticamente nao se justifica pois a precisao dos circulos de calagem do telescopio esta' de acordo com a precisao necessaria ao ponto de tangencia.

De fato, conforme podemos verificar pelos resultados, o ponto de tangencia otimo esta' afastado 27mm do centro geometrico e a dispersao dos resultados e' de aproximadamente 30 mm, alta porem plenamente justificada pois ainda assim e' menor do que a tolerada, ficando ao usuario a opcao da utilizacao ou nao dos resultados do metodo. No Observatorio do Valongo deverao ser aproveitados.

Finalmente, nao foi observada uma dependencia do ponto de tangencia com a altura pois a dispersao de resultados da coordenada y (declinacao) foi praticamente igual a da coordenada x (ascensao reta), o que descarta a hipotese de flexao do instrumento.

APLICACAO AO ASTROGRAFO DUPLO DO O. R. DE BELGIQUE:

1. Instrumento: Astrografo Duplo Zeiss, $f=2m$, $d=40cm$

2. Metodologia de pesquisa:

A determinacao do ponto de tangencia para este telescopio constituiu-se mais numa curiosidade do que propriamente uma pesquisa cientifica metodica, embora todos os passos de busca do ponto de tangencia da placa tivessem sido realizados. O fato e' que na oportunidade de nosso trabalho havia no Observatorio do Valongo somente uma placa fotografica deste telescopio, porem com a particularidade de conter perto de uma centena de estrelas identificaveis em seu campo. Isto serviu de estimulo para que modificassemos um pouco nossa metodologia anterior de pesquisa afim de se incluir mais esta placa no trabalho.

Como ponto de partida, deve-se acrescentar que as medidas das coordenadas de placa das estrelas foram obtidas na tese de mestrado de J. F. C. Caldeira [5].

Uma vez que se tinha limitacao em numero de placas mas nao em quantidade de estrelas, simulou-se uma situacao em que foi possivel criar tres grupos de estrelas de base na placa, independentes entre si, cada grupo ocupando o mais homogeneamente possivel a superficie da placa, de forma que parecessem pertencer, cada um, a placas fotograficas distintas. Com isso, criamos um numero ficticio de tres placas sob pesquisa.

Com o objetivo de obter resultados igualmente ponderados, cada grupo devia conter um terco do total de estrelas utilizadas na placa, de forma que cada grupo fosse igual na quantidade de estrelas.

Visando comparar e dar mais consistencia aos resultados apresentados, formamos mais dez grupos de estrelas de base tendo estes, em media, cinco estrelas de cada um dos grupos

acima equacionados. O ponto de tangencia experimental da placa foi obtido entao pela media aritmetica dos treze resultados parciais, conforme descreve a tabela a seguir. Os diagramas da disposicao dos grupos de estrelas formados na placa estao contidos no apendice.

3. Resultado final e conclusoes:

PLACA NUMERO: 4247 (COD. O. V.)

GRUPO	NUMERO DE		COORD. DE PLACA		DISPERSAO DE RESULT.	
	ESTRELAS		x	y	em x	em y
1	25		499	189		
2	25		498	191		
3	25		494	190		
4	15		497	191		
5	15		498	188		
6	15		493	191		
7	15		498	191		
8	15		500	190		
9	15		496	189		
10	15		500	186		
11	15		496	193		
12	15		496	189		
13	15		495	193		
RESULTADO (PTO. DE TANG. EXP. DA PLACA)->			497	190	2.2	2.2

O residuo maximo em uma estrela da placa, nas coordenadas alfa ou delta, conforme os grupos 1, 2 ou 3 foram respectivamente 0.58", 0.75" e 0.78".

Por ter a placa as mesmas dimensoes das de Campinas e por se tratar de um astrografo similar, podemos proceder a um raciocinio identico ao desenvolvido para este ultimo.

Obtivemos como resultado final para o ponto de tangencia uma distancia de 10 mm. do centro geometrico da placa, o que e' muito melhor do que a precisao dos circulos graduados do instrumento (1° ou 35 mm.).

Verificamos que em principio o metodo e' valido pois os resultados se encontram na ordem dos valores tolerados de "tilt" (8 mm.).

Notamos que os valores dos pontos de tangencia dos grupos de estrelas dados acima se encontram muito proximos entre si, o que pode ser justificado pelo trabalho com uma placa somente. A coordenada γ (declinacao) sofreu um desvio de 10 mm. em relacao ao centro geometrico da placa, com pequena dispersao de resultados, inicialmente nao esperado e que poderia ser devido a uma caracteristica intrinseca da placa ou ate' mesmo a condicao do chassis utilizado.

Seria interessante no futuro rever este ponto de tangencia experimental empregando mais placas, pois o metodo neste caso se mostrou bastante util.

APLICACAO AO TELESCOPIO DE 1,60 m DO L. N. A.:

1. Instrumento: Telescopio Perkins-Elmer, $f=16m$, $d=1.6m$

2. Metodologia de pesquisa:

Tendo em vista resultados apurados anteriormente para outros telescopios de menor focal, era de se esperar que o metodo falhasse completamente para este instrumento. De fato, ja' numa primeira checagem de resultados para a placa, comprovou-se que os resultados do ponto de tangencia experimental nao so' nao pertenciam a superficie da placa como sequer estavam em suas proximidades. Mais ainda, estavam distantes varias ordens de grandeza da propria dimensao da placa (alguns metros do centro geometrico mais precisamente). Sendo assim, seria descabido apresentar aqui qualquer resultado numerico para a placa pois nao acrescentaria coisa alguma a nosso proposito.

Fazendo um estudo analogo aos demais instrumentos pesquisados, vamos calcular o erro de centragem p tolerado para este telescopio.

Dados placa 9 cm X 12 cm e $f=16m$. Entao a escala de placa e' 13"/mm e o campo 20' X 26'. Para uma estrela na borda da placa temos:

$$\Delta x (") = 0.01 \text{ mm} \cdot 13"/\text{mm} = 0.1"$$

$$p (") = 4.25 \cdot 10^{10} \cdot 0.1" / (780")^2 = 6986"$$

$$p (\text{mm}) = 6986" / 13"/\text{mm} = 537 \text{ mm}$$

Para o erro p permitido devido a imprecisao do catalogo:

$$p (") = 4.25 \cdot 10^{10} \cdot 0.7" / (780")^2 = 48902"$$

$$p (\text{mm}) = 48902" / 13"/\text{mm} = 3762 \text{ mm}$$

Entao o erro total de tilt tolerado e' superior a

3 m, o que inviabiliza o metodo.

Conclusao: Mais uma vez os calculos teoricos foram comprovados experimentalmente, embora nao se possa ter uma aplicacao pratica nesta situacao.

CONCLUSOES FINAIS:

Em nosso estudo, verificamos que varias situacoes poderiam ocorrer:

I) O metodo ser valido, introduzindo um conjunto de resultados que facilitam a tarefa de reducao de uma placa com poucas estrelas pela minimizacao do "tilt" e o consequente emprego imediato do polinomio ajustante a primeiro grau proporcionando aceleracao e maior confiabilidade ao processo.

II) O metodo ser valido, porem desnecessario visto que nao proporciona grande vantagem ao procedimento usual (centro dado pelo observador).

III) O metodo levar a resultados inaplicaveis.

O caso I corresponde aos casos de Campinas e de Uccle (Belgique), cujos telescopios possuem focal = 2m.

O caso II corresponde ao E. S. O. cujo instrumento possui focal = 4m.

O caso III corresponde ao L. N. A., possuindo o telescopio focal = 16m.

Pela inspecao das formulas apresentadas no decorrer do trabalho, vemos que a precisao do ponto de tangencia e' dependente da escala de placa do telescopio (portanto da sua focal), sendo necessaria maior precisao quanto menor a focal do instrumento. Se esta for pequena, a exigencia e' plenamente satisfeita pelo metodo. Em contrapartida, para telescopios de focais maiores (caso II e especialmente caso III) a inaplicabilidade do metodo nao deve servir de desestimulo pois a precisao do ponto de tangencia nao se faz necessaria ja' que um erro linear de centragem relativamente grande corresponde a um pequeno erro angular na determinacao da posicao alfa e delta de uma estrela da placa. Tal erro angular e' realmente pequeno, ainda mais que sabemos que o erro linear nao excede a dimensao da placa, caso contrario os astros de interesse nao estariam nela.

No pior caso o erro angular não passa de 0.022" ou trinta vezes menor do que a precisão do catálogo.

Seria de grande valia uma futura redeterminação de todos os pontos de tangência experimentais encontrados, sobretudo para os dos telescópios do caso I e similares, empregando um catálogo mais preciso (precisão < 0.7") e mais atualizado (época 2000.0) e um coordenatógrafo que proporcionasse um erro de leitura menor. Com isso, a precisão do ponto de tangência experimental seria melhor determinada acarretando menor influência do tilt com a consequente diminuição dos resíduos de uma redução, o que traria consequências positivas para várias áreas da Astronomia.

REFERENCIAS:

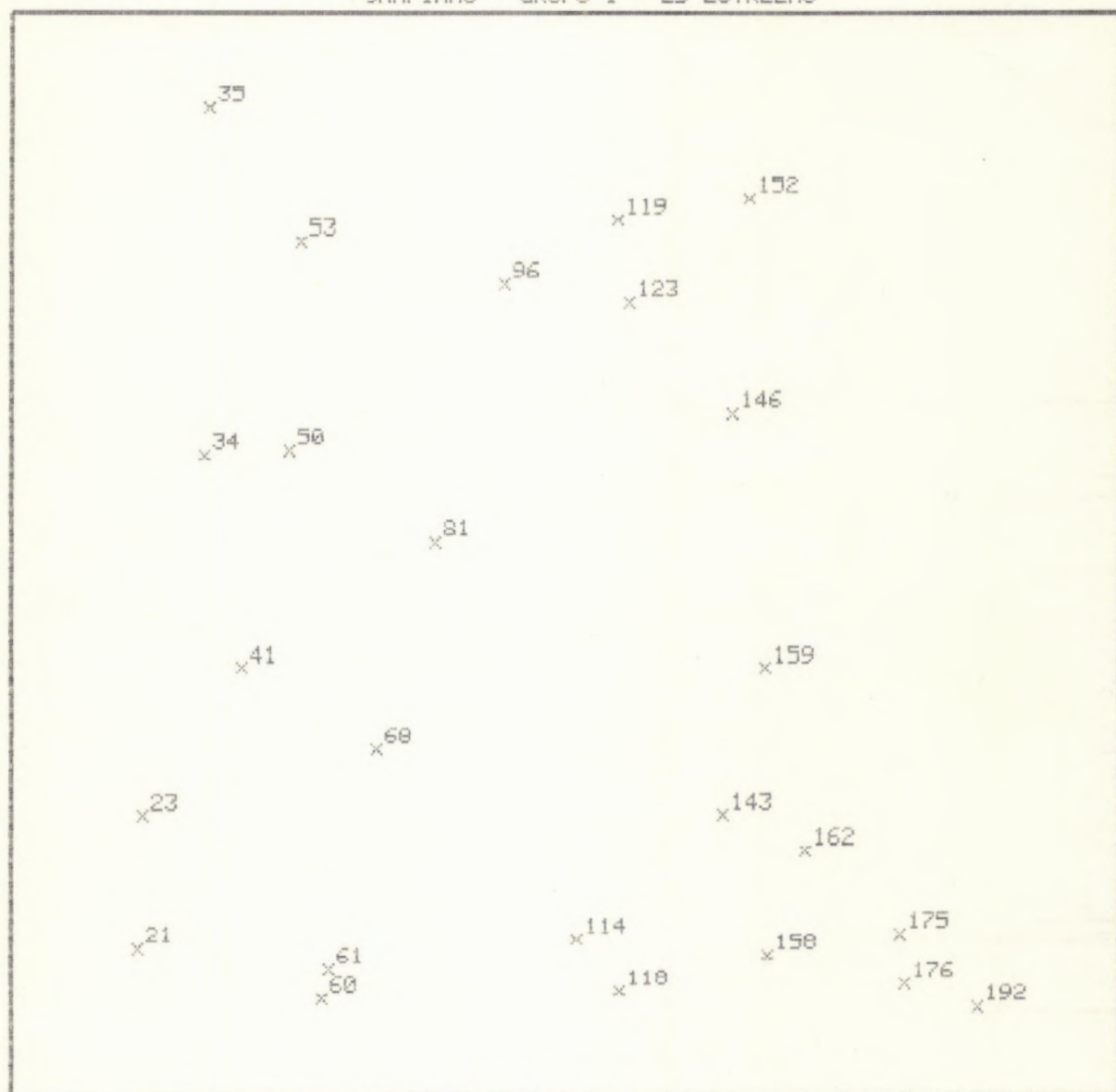
- [1] Vieira, G. G. - Determinacao do centro de reducao de uma placa fotografica - Tese de mestrado, UFRJ, 1987.
- [2] Debehogne, H. - Cours d'Astronomie - Astrometrie Photographique - Obs. Valongo, UFRJ, 1977.
- [3] SAO - Smithsonian Astrophysical Observatory Catalog - U. S. Government Print Office, Washington D. C., 1966
- [4] Konig, A. - Astrometry with Astrographs - in Astronomical Techniques - University of Chicago Press, Chicago, 1969.
- [5] Caldeira, J. F. C. - Determinacao do melhor polinomio e numero de estrelas na reducao de placas astro-fotograficas - Tese de mestrado, UFRJ, 1981.

BIBLIOGRAFIA:

- * Podobed, V. V. - Fundamental Astrometry - The University of Chicago Press, Chicago, 1965.
- * Van de Kamp, P. - Principles of Astrometry - W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1967.
- * Smart, W. M. - Textbook on Spherical Astronomy - Cambridge University Press, Cambridge, 1977.

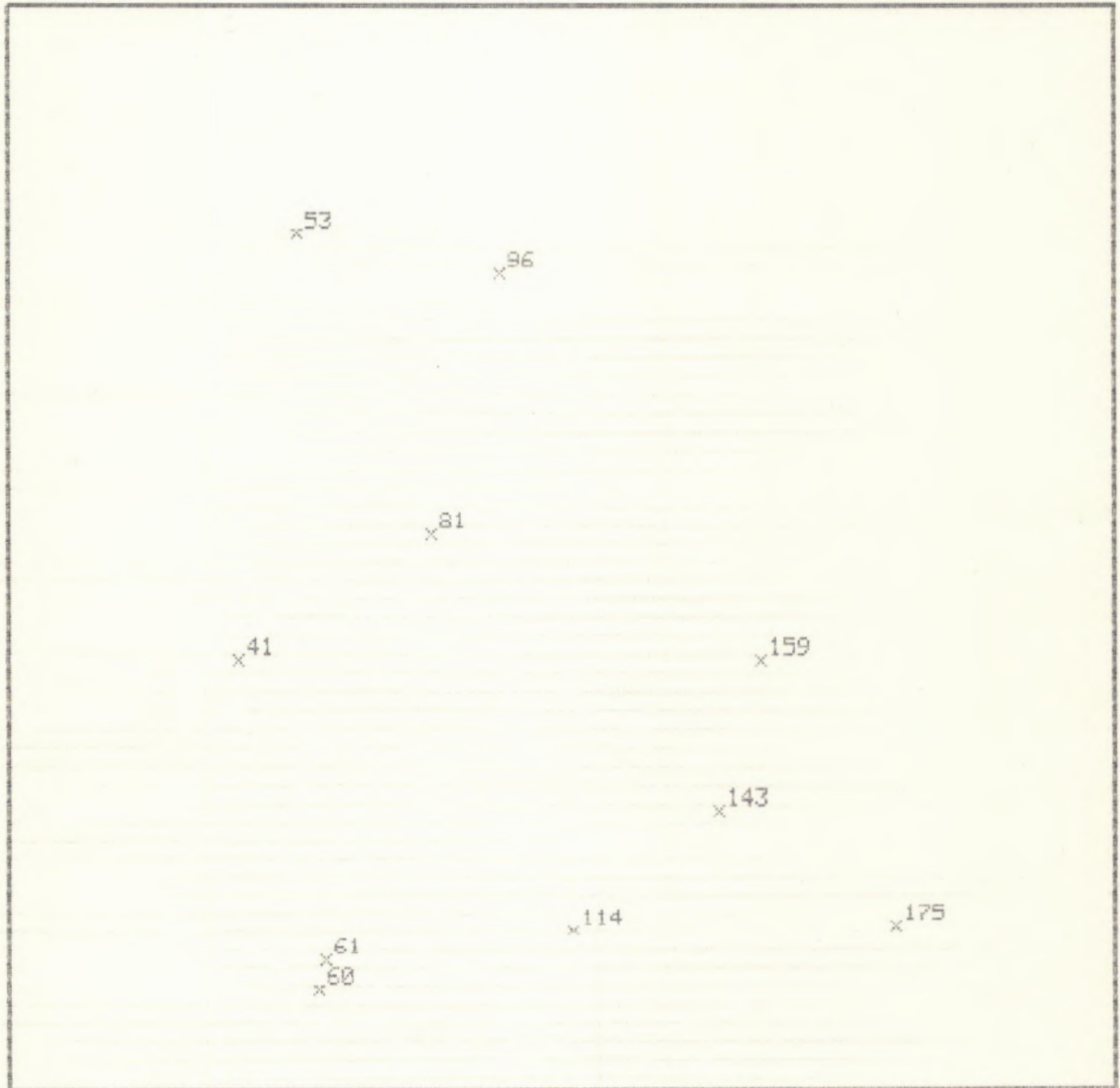
A P E N D I C E :

CAMPINAS - GRUPO 1 - 25 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0055

CAMPINAS - GRUPO 2 - 10 ESTRELAS



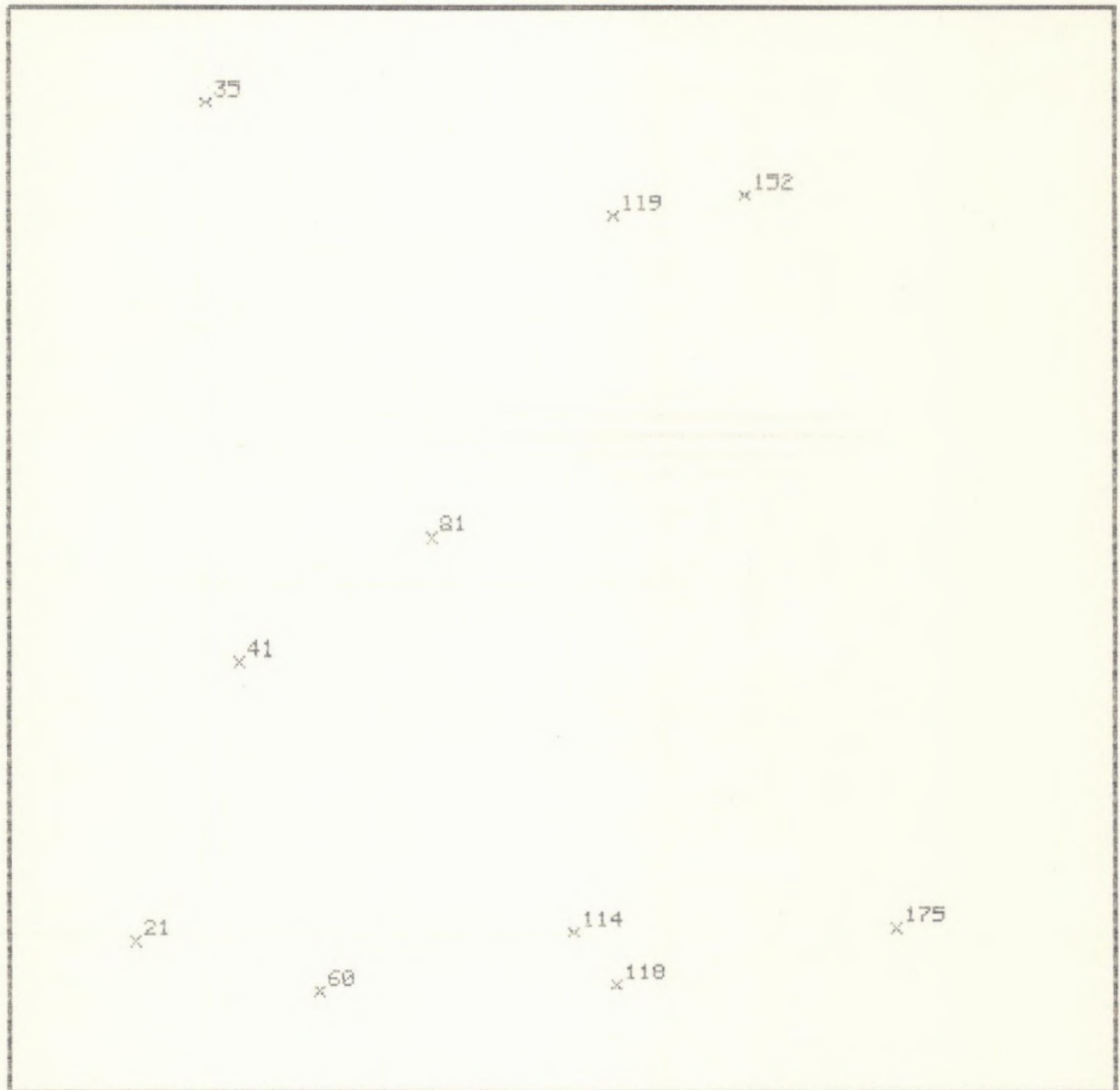
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0055

CAMPINAS - GRUPO 3 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0055

CAMPINAS - GRUPO 4 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0055

CAMPINAS - GRUPO 5 - 10 ESTRELAS



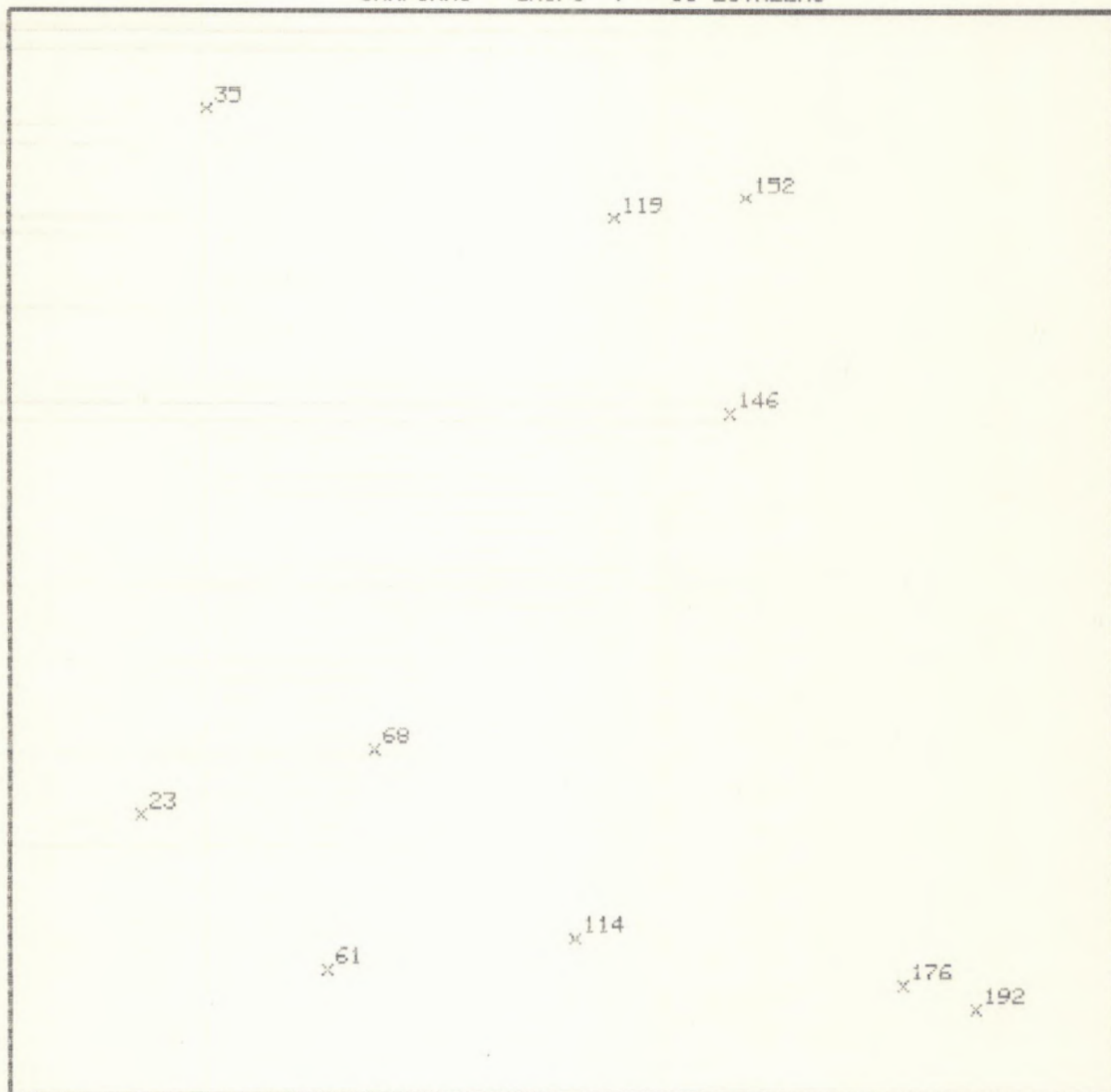
CODIGO DA PLACA - (O.U.) 0055

CAMPINAS - GRUPO 6 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0055

CAMPINAS - GRUPO 7 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0055

CAMPINAS - GRUPO 8 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0055

CAMPINAS - GRUPO 9 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0055

CAMPINAS - GRUPO 1 - 25 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0063

CAMPINAS - GRUPO 2 - 10 ESTRELAS



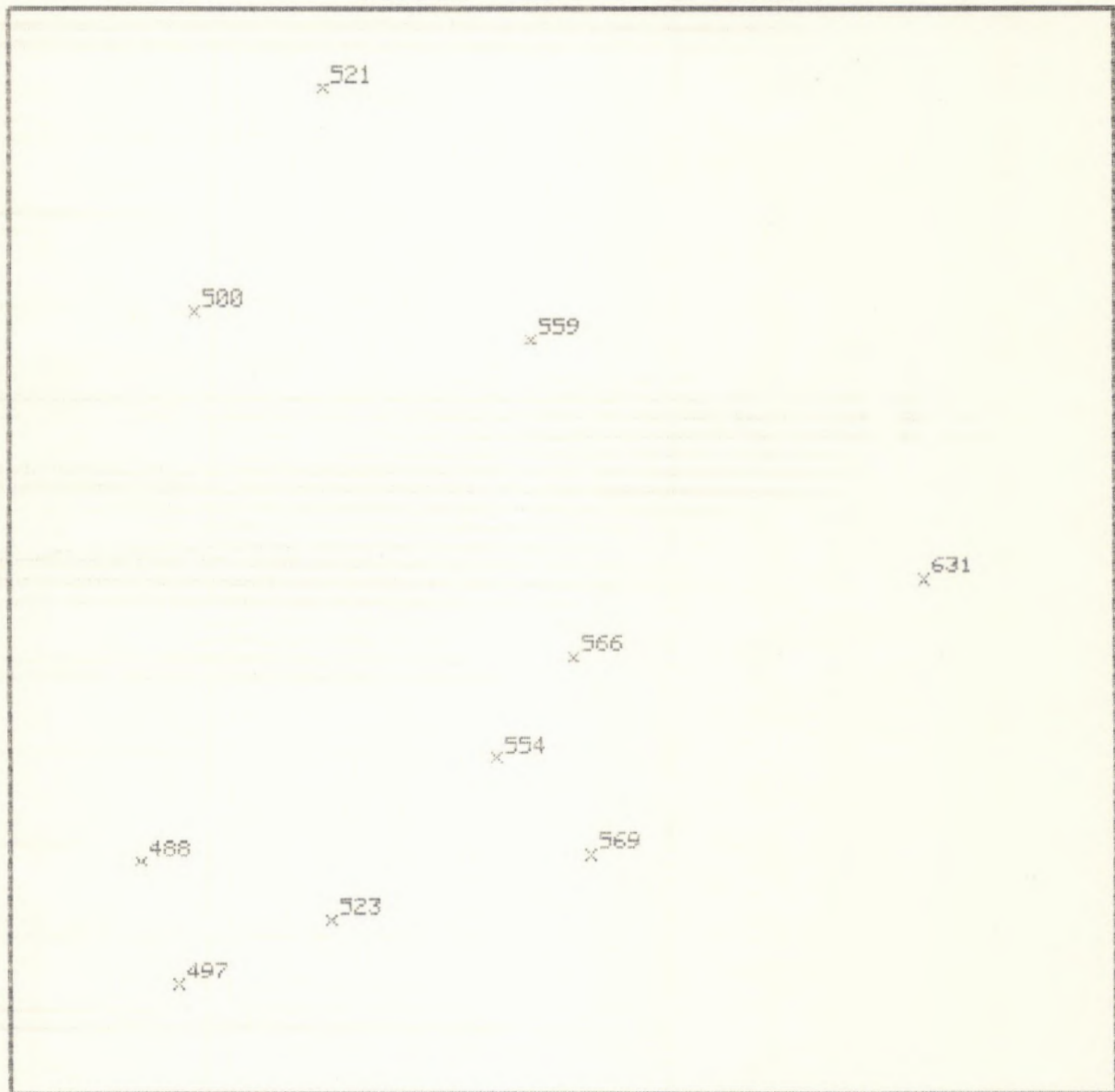
CODIGO DA PLACA - (O.U.) 0063

CAMPINAS - GRUPO 3 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0063

CAMPINAS - GRUPO 4 - 10 ESTRELAS



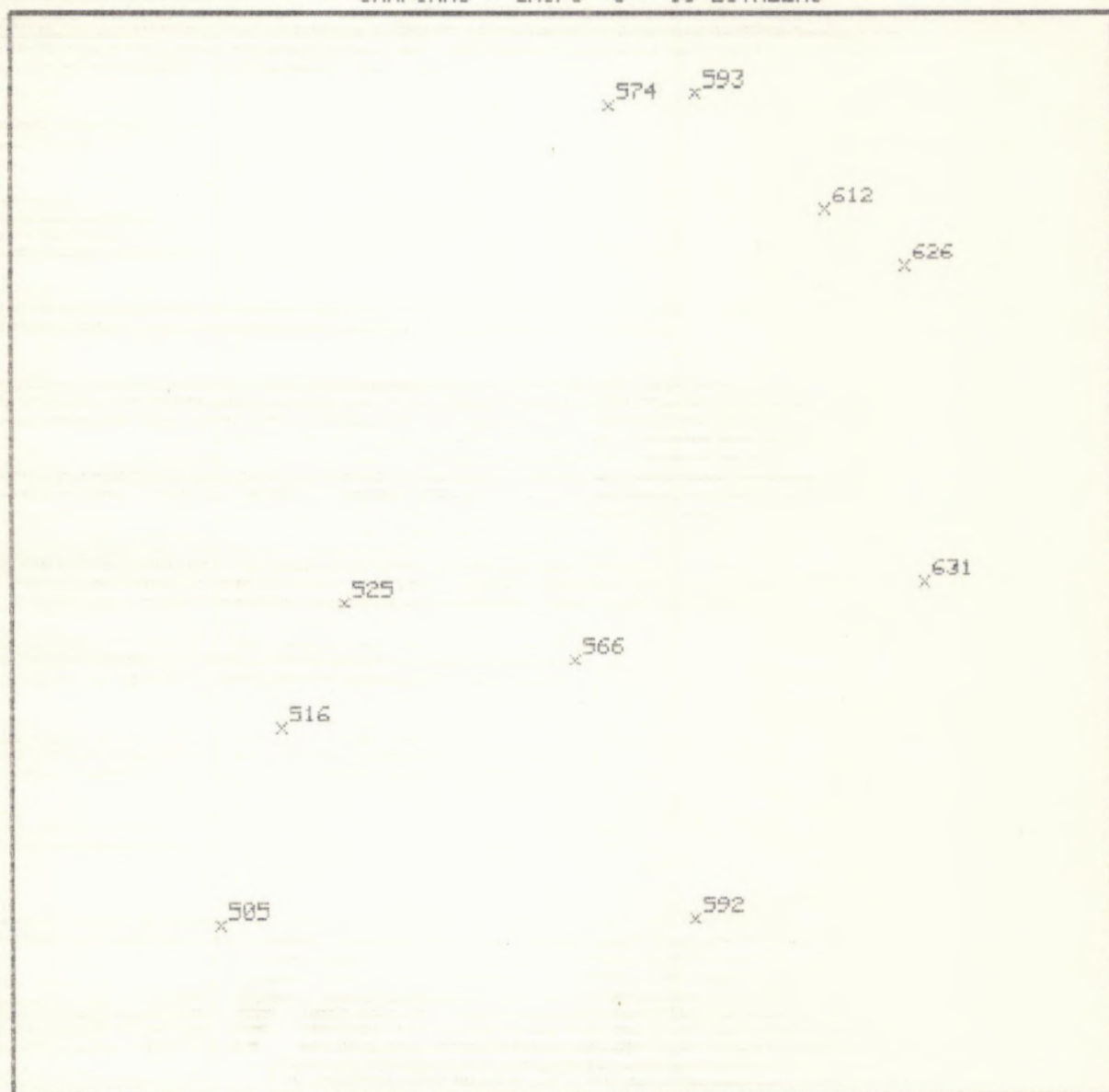
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0063

CAMPINAS - GRUPO 5 - 10 ESTRELAS



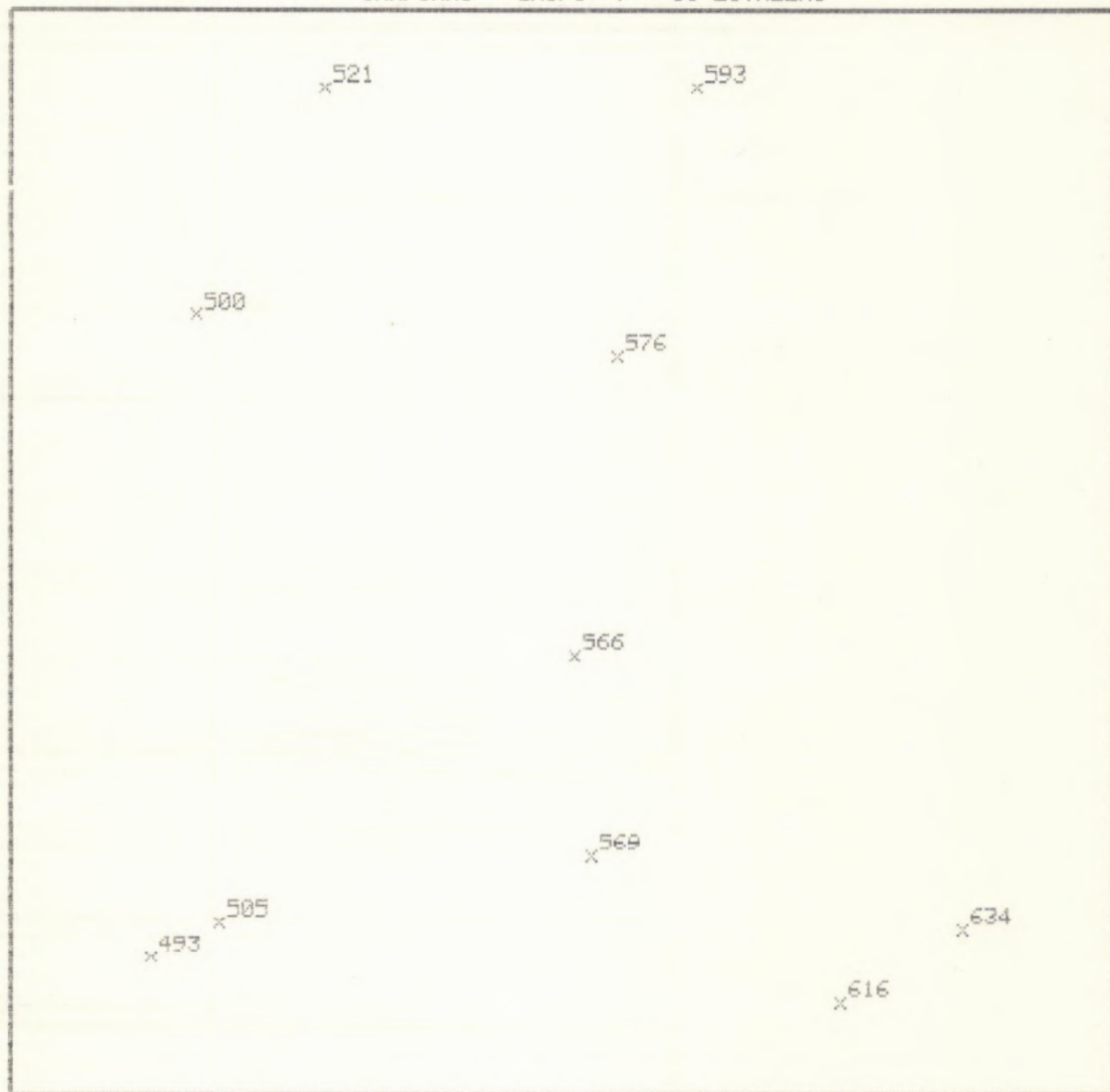
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0063

CAMPINAS - GRUPO 6 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0063

CAMPINAS - GRUPO 7 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0863

CAMPINAS - GRUPO 8 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0063

CAMPINAS - GRUPO 9 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0063

CAMPINAS - GRUPO 1 - 25 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (D.V.) 0065

CAMPINAS - GRUPO 2 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0065

CAMPINAS - GRUPO 3 - 10 ESTRELAS



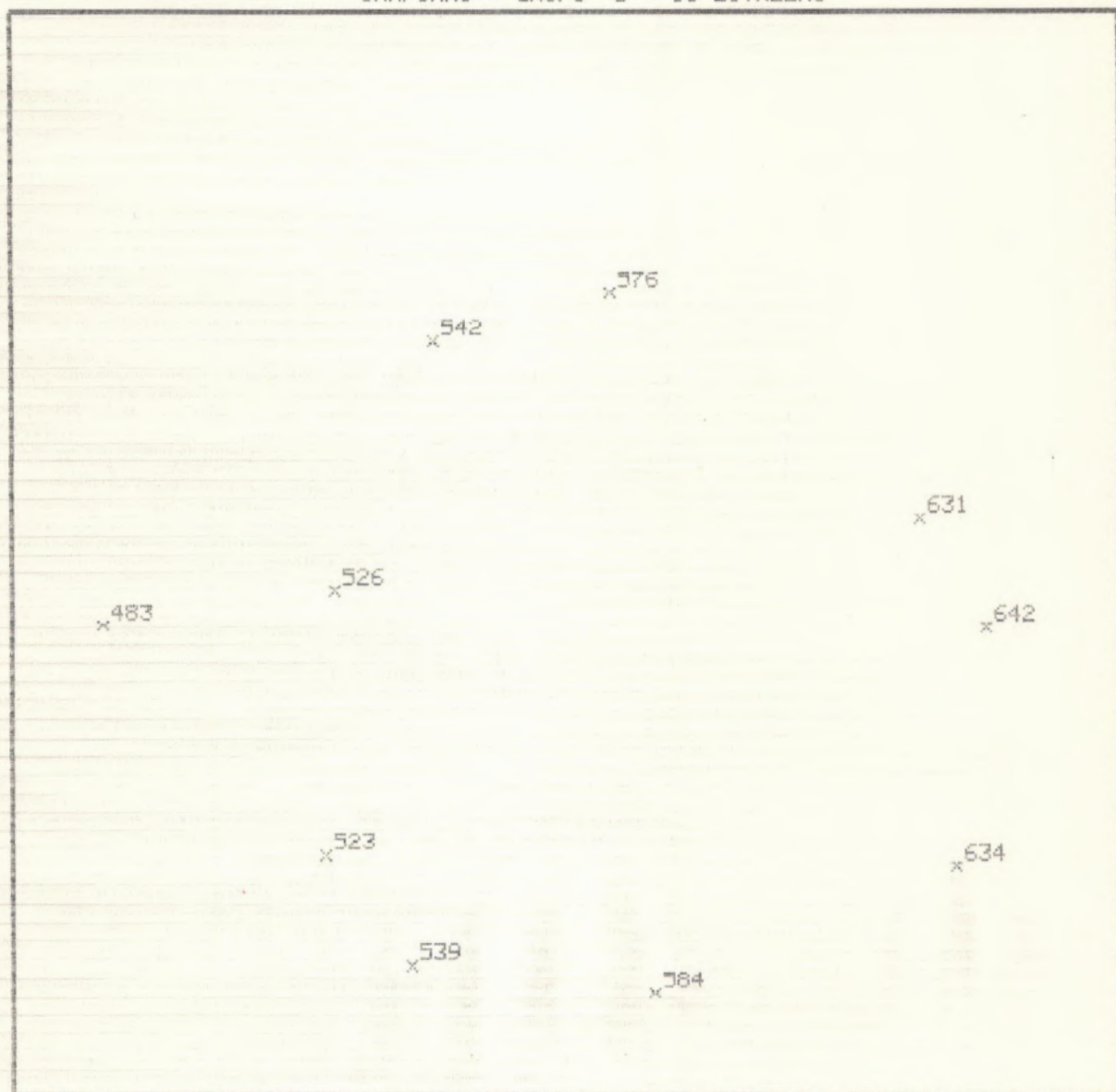
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0065

CAMPINAS - GRUPO 4 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0065

CAMPINAS - GRUPO 5 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0065

CAMPINAS - GRUPO 6 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.U.) 0065

CAMPINAS - GRUPO 7 - 10 ESTRELAS



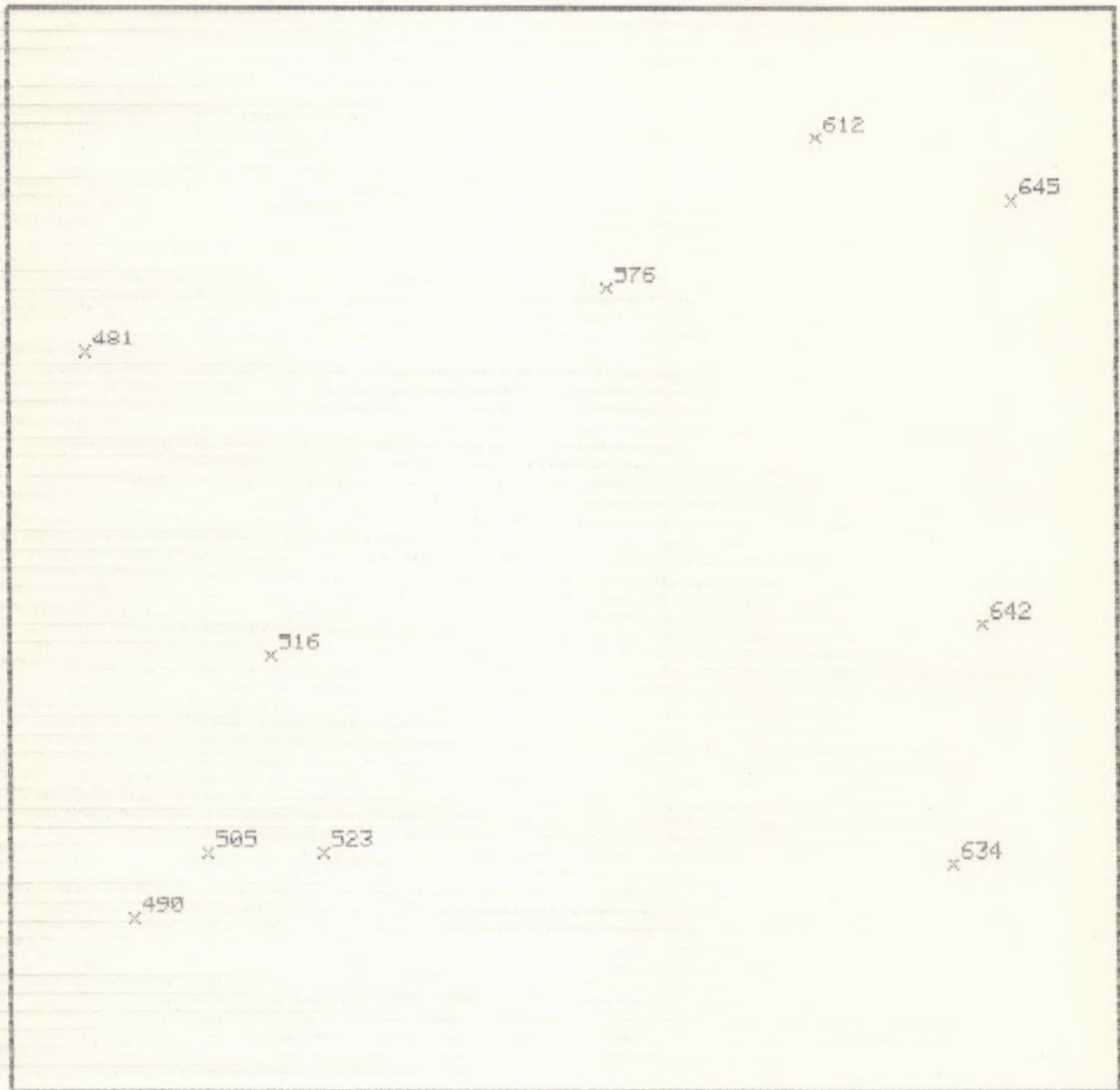
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0065

CAMPINAS - GRUPO 9 - 10 ESTRELAS



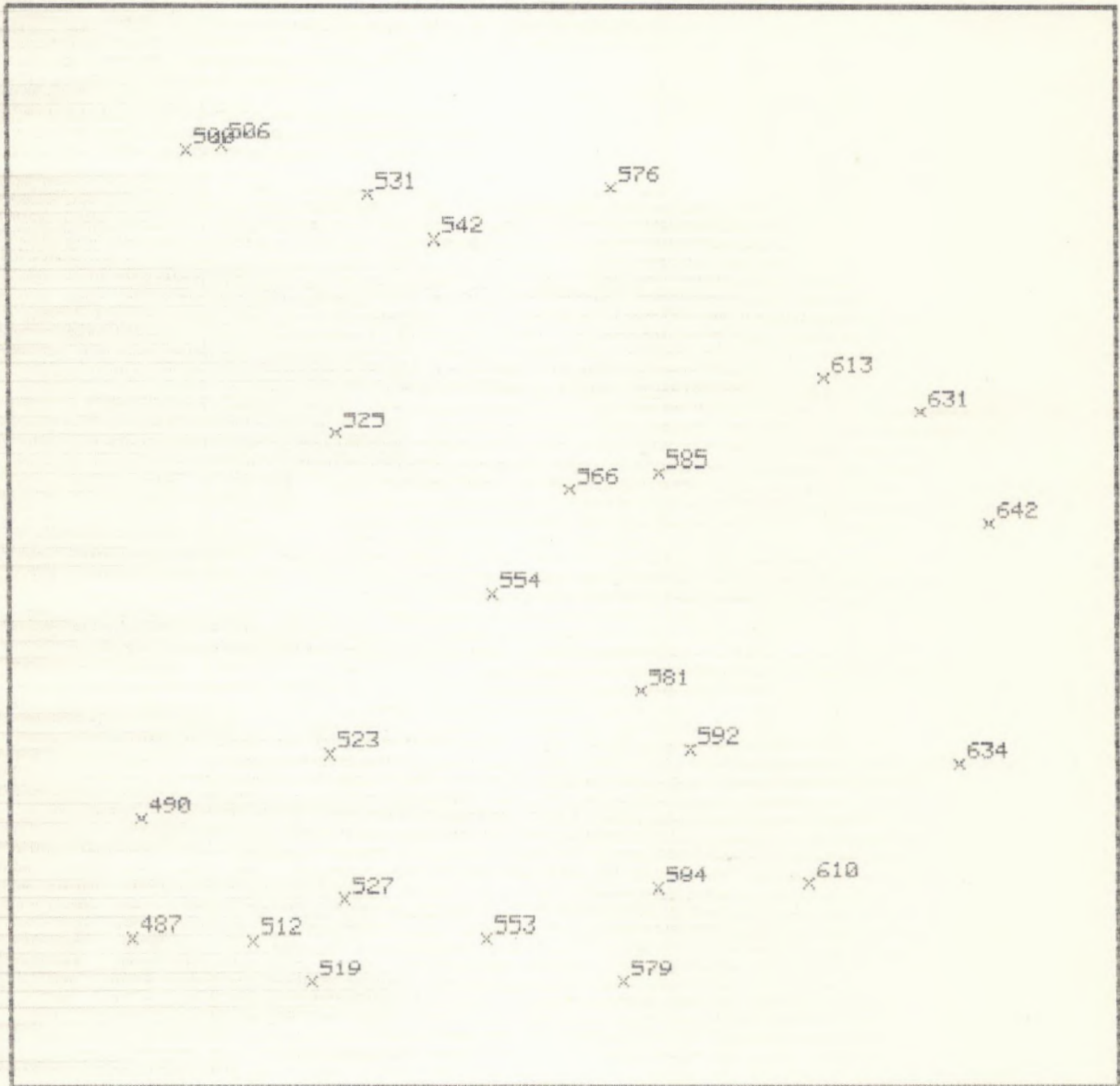
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0065

CAMPINAS - GRUPO 9 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0065

CAMPINAS - GRUPO 1 - 25 ESTRELAS



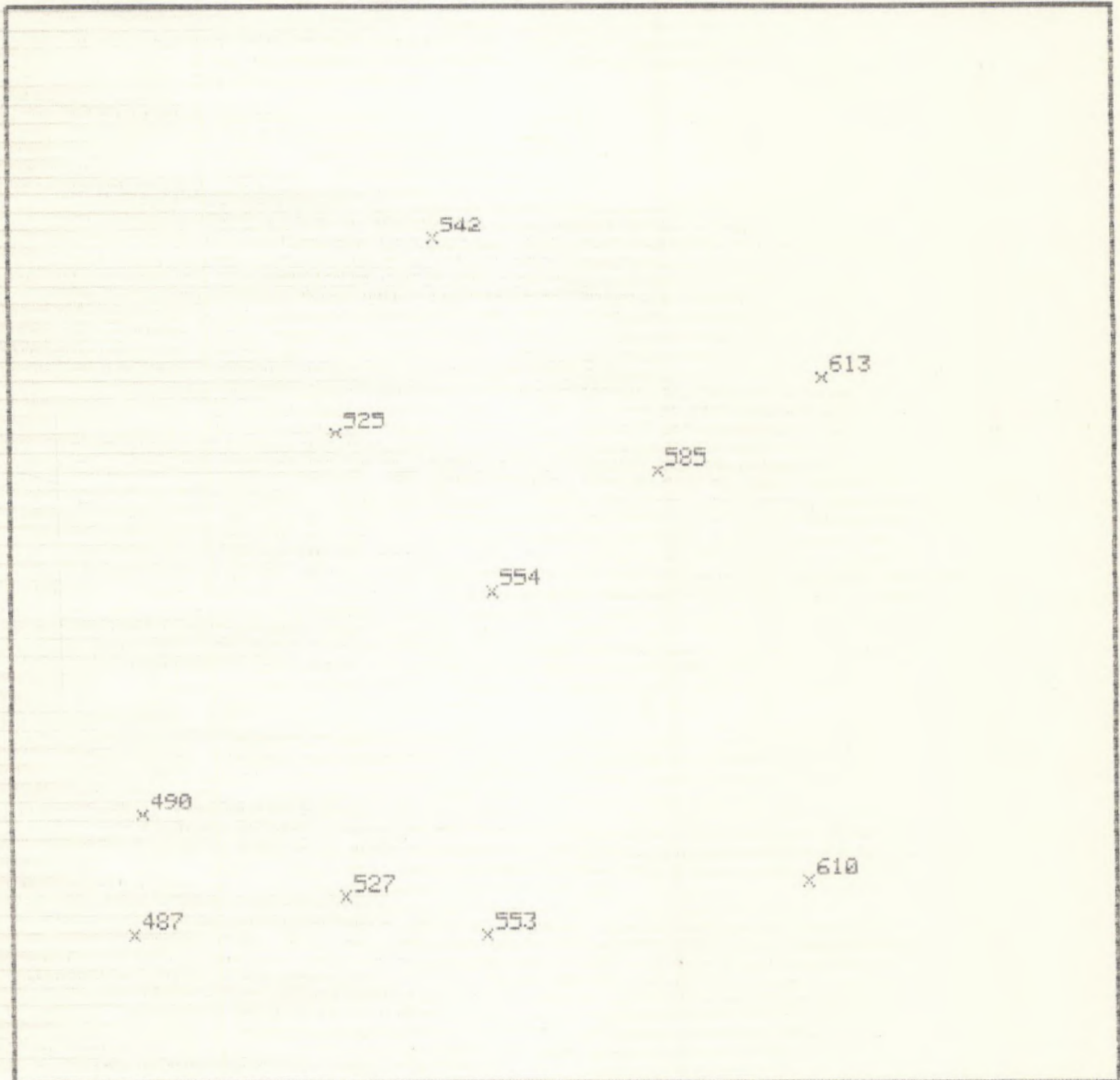
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0070

CAMPINAS - GRUPO 2 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0070

CAMPINAS - GRUPO 3 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0070

CAMPINAS - GRUPO 4 - 10 ESTRELAS



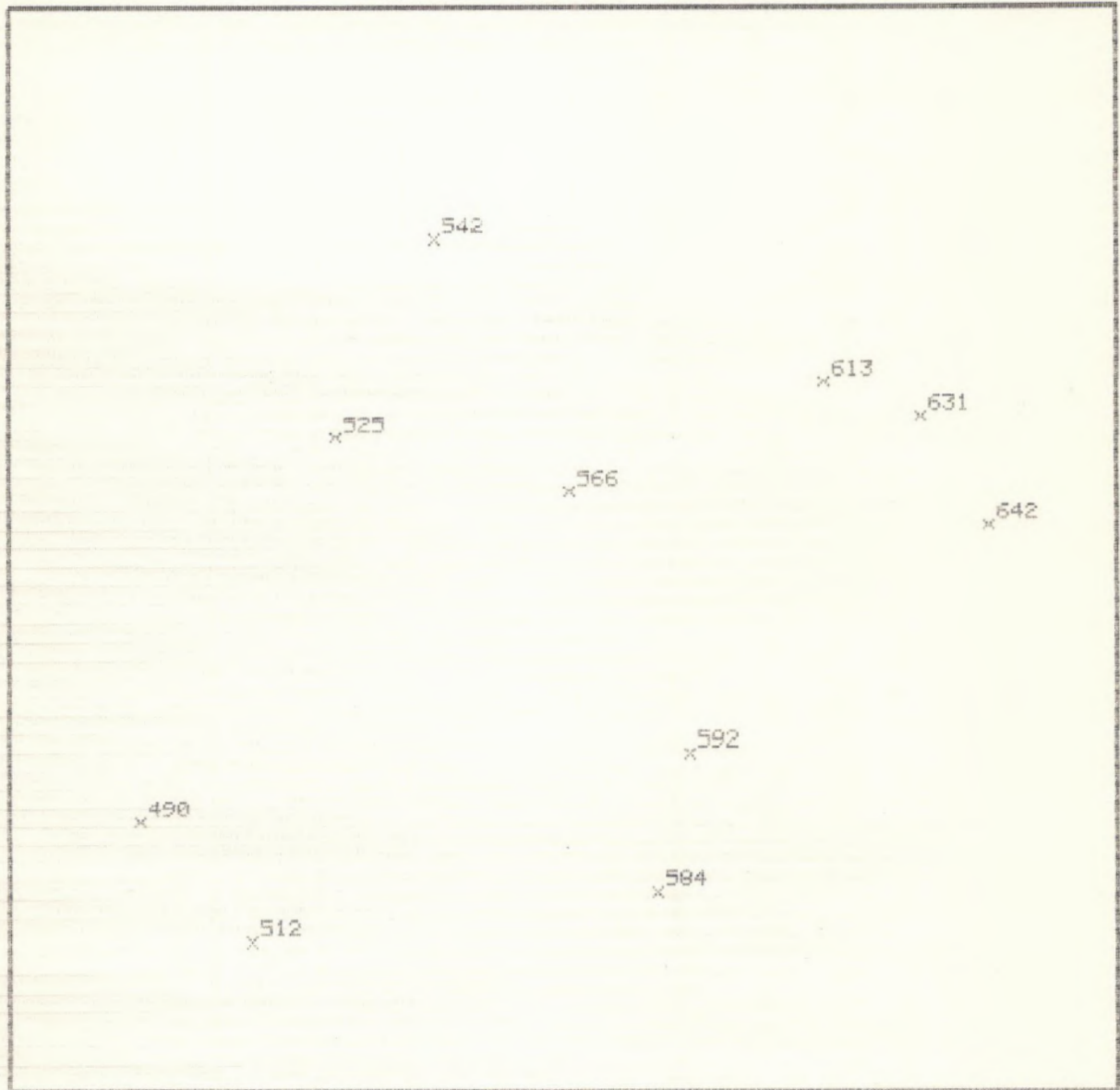
CODIGO DA PLACA - (O.U.) 0070

CAMPINAS - GRUPO 5 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0070

CAMPINAS - GRUPO 6 - 10 ESTRELAS



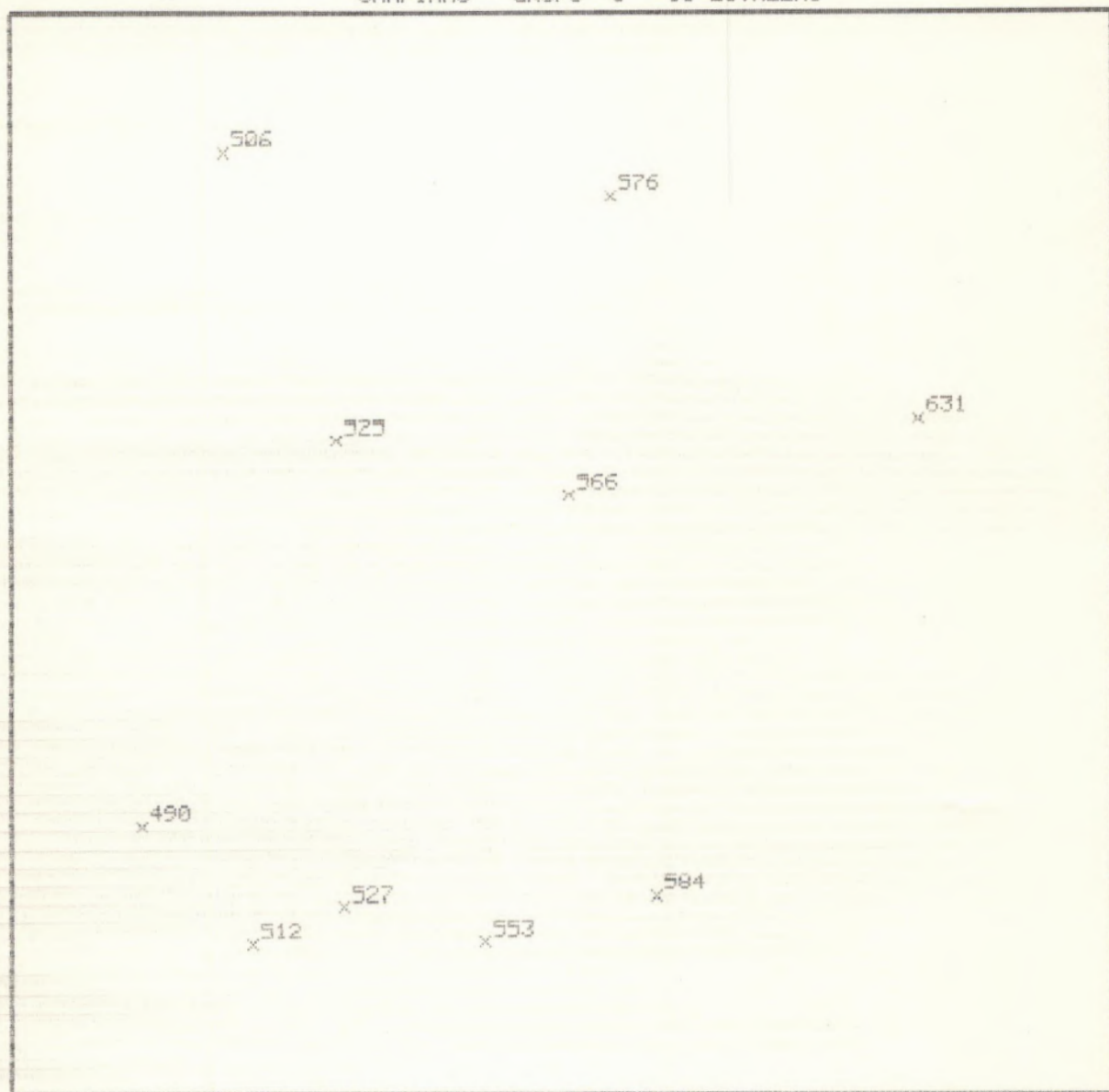
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0070

CAMPINAS - GRUPO 7 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0070

CAMPINAS - GRUPO 9 - 10 ESTRELAS



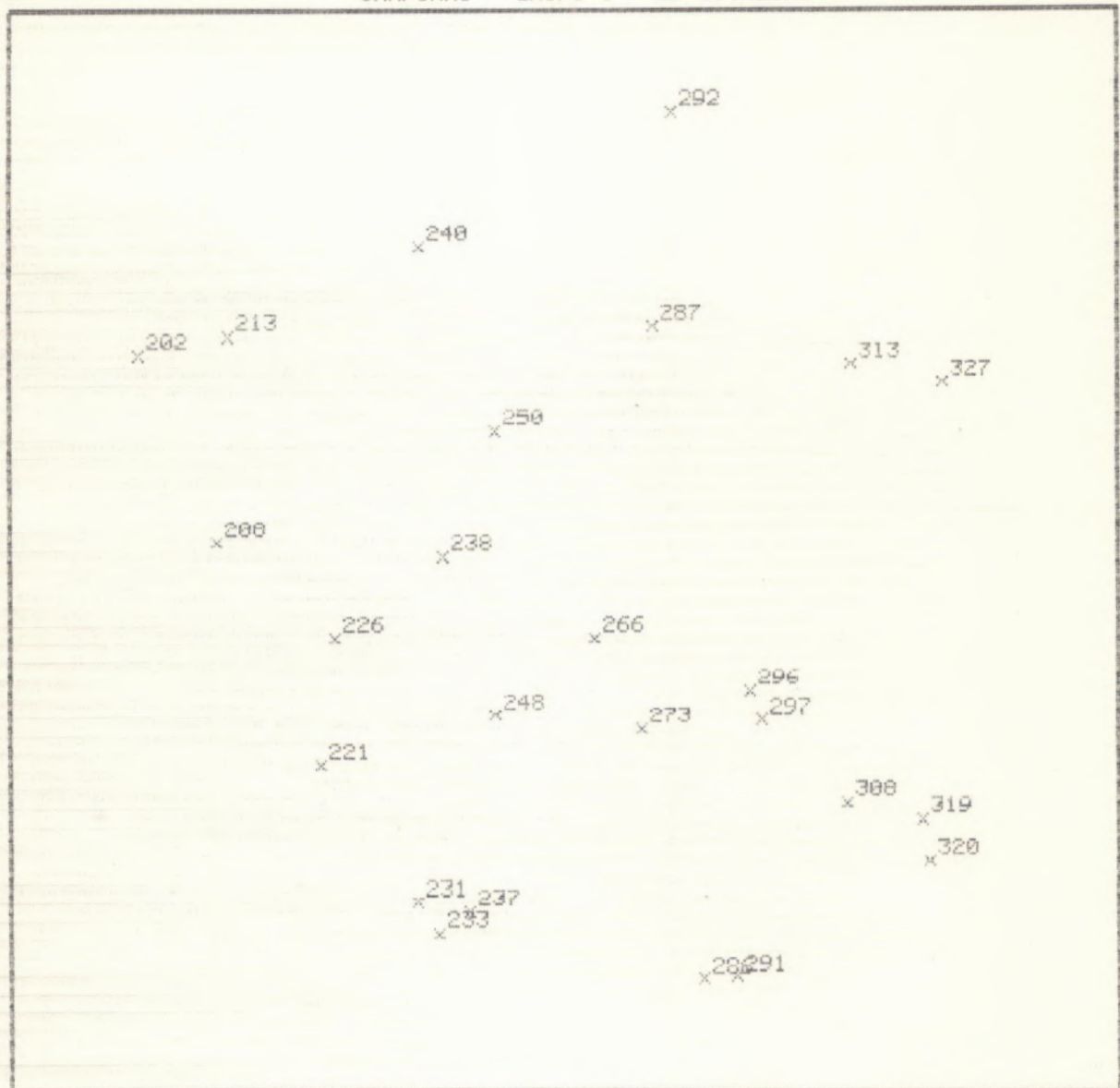
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 8878

CAMPINAS - GRUPO 9 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0070

CAMPINAS - GRUPO 1 - 25 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.U.) 0080

CAMPINAS - GRUPO 2 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0088

CAMPINAS - GRUPO 3 - 10 ESTRELAS



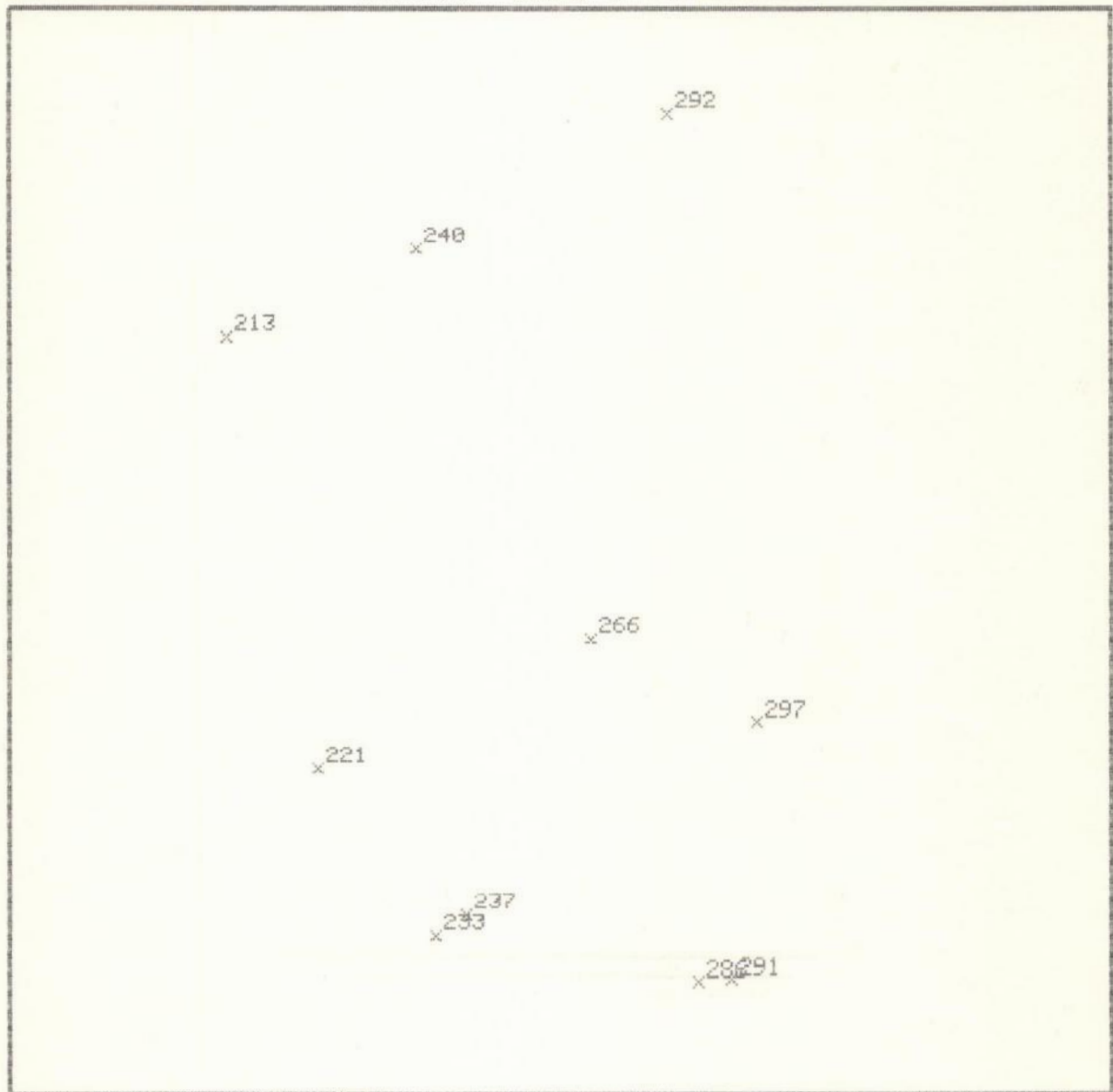
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0000

CAMPINAS - GRUPO 4 - 10 ESTRELAS



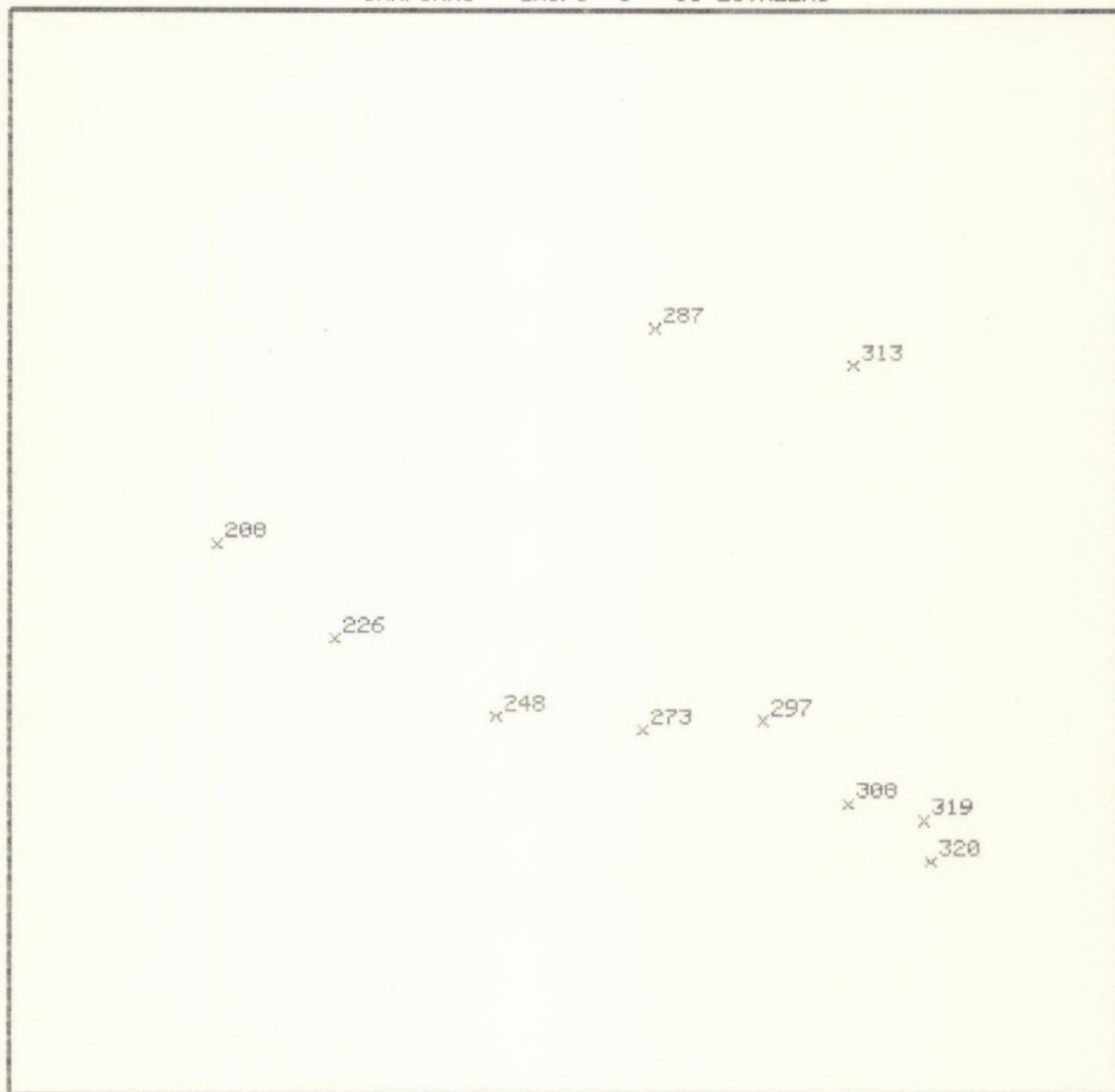
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0080

CAMPINAS - GRUPO 5 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.U.) 0080

CAMPINAS - GRUPO 6 - 10 ESTRELAS



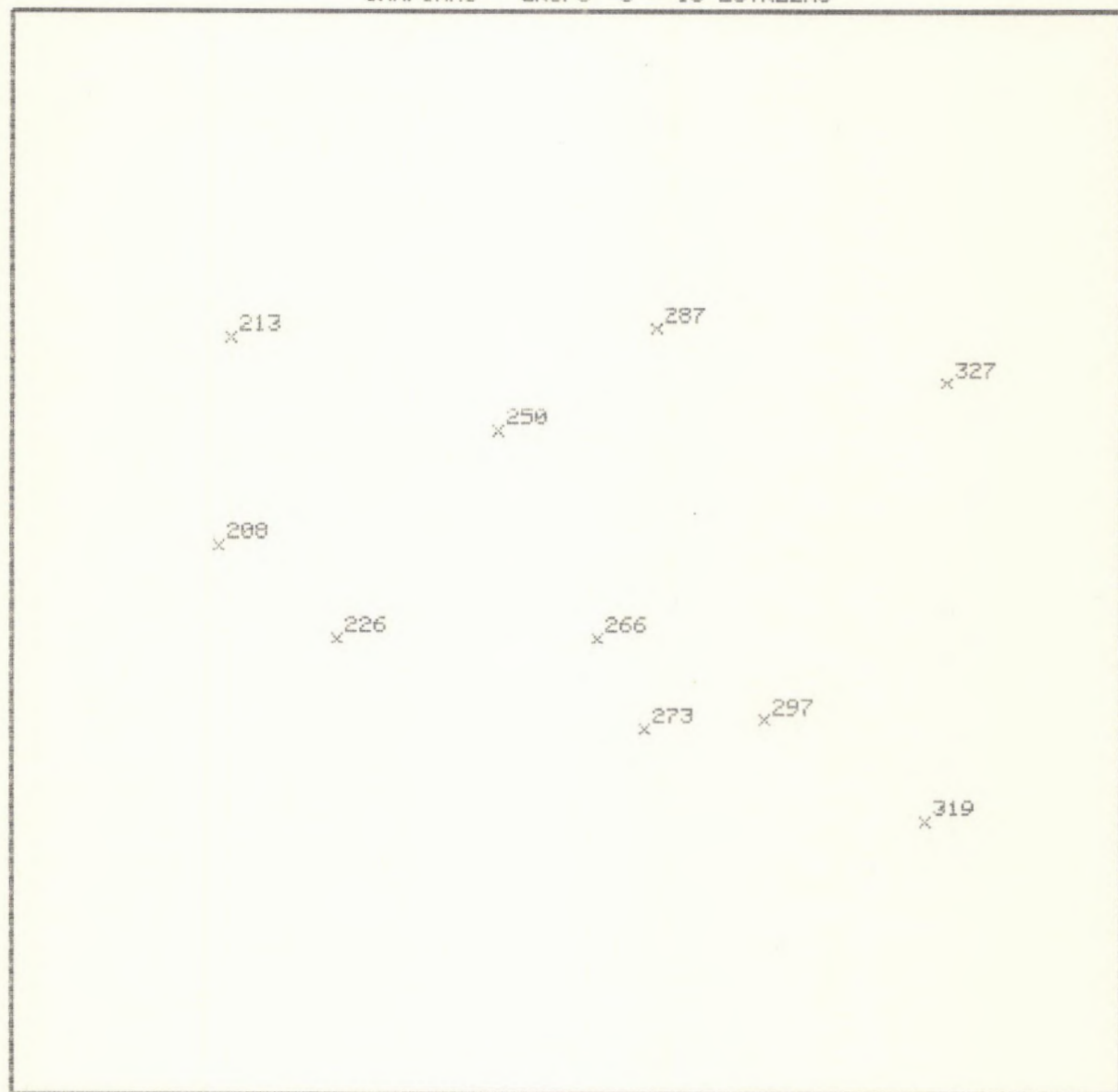
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0080

CAMPINAS - GRUPO 7 - 10 ESTRELAS



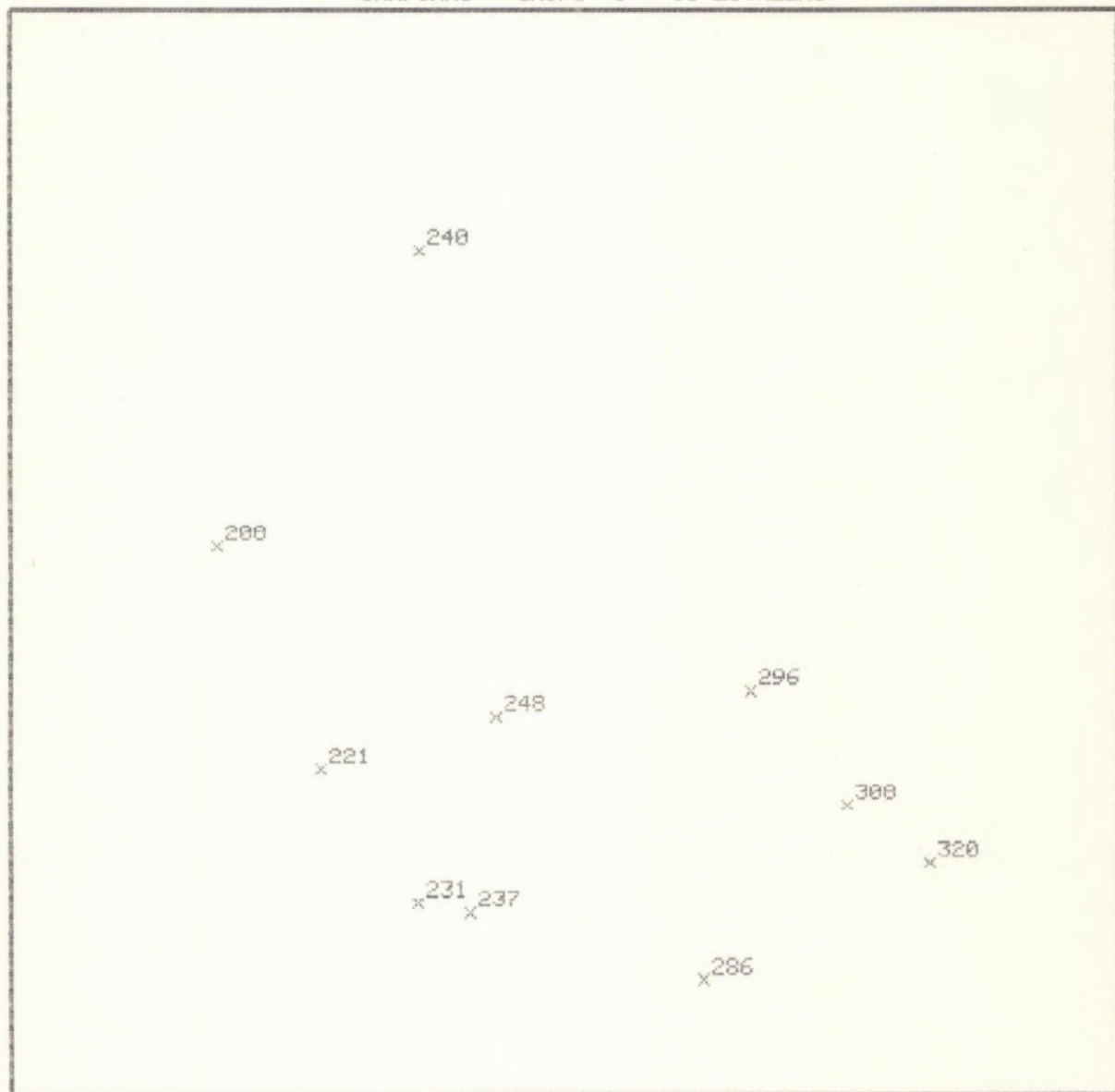
CODIGO DA PLACA - (O.U.) 0088

CAMPINAS - GRUPO 8 - 10 ESTRELAS



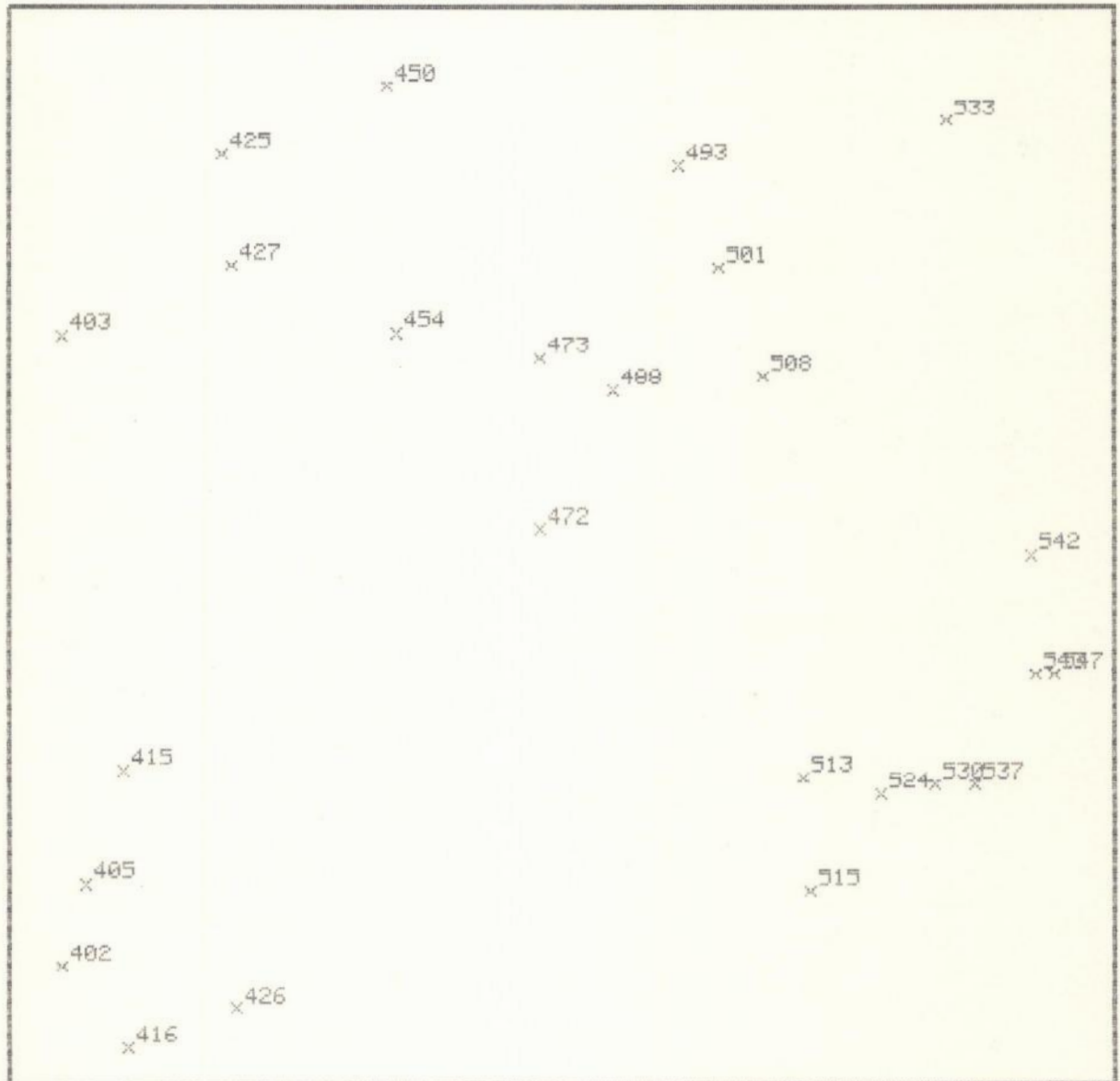
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0080

CAMPINAS - GRUPO 9 - 10 ESTRELAS



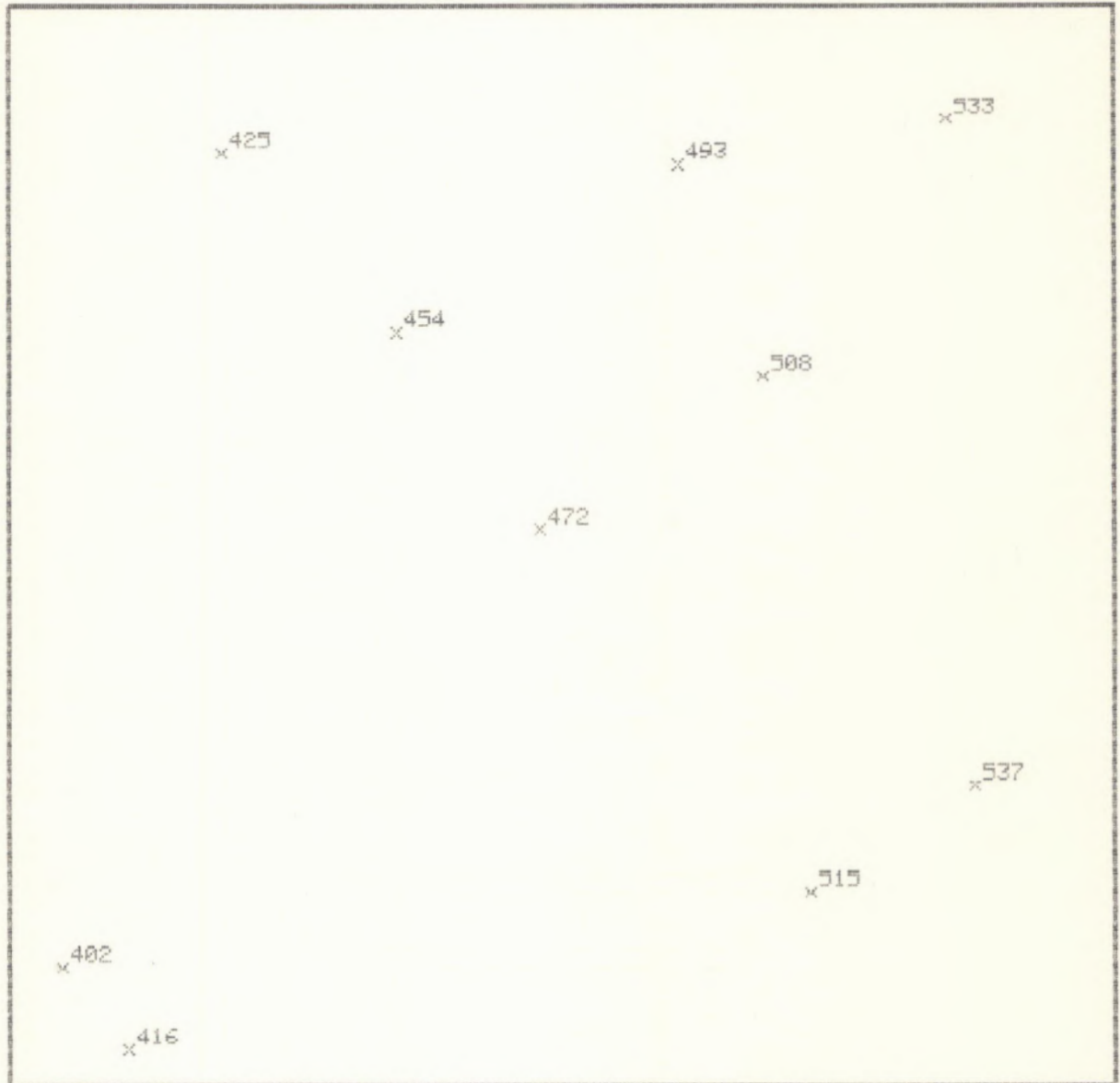
CODIGO DA PLACA - (O.U.) 0000

CAMPINAS - GRUPO 1 - 25 ESTRELAS



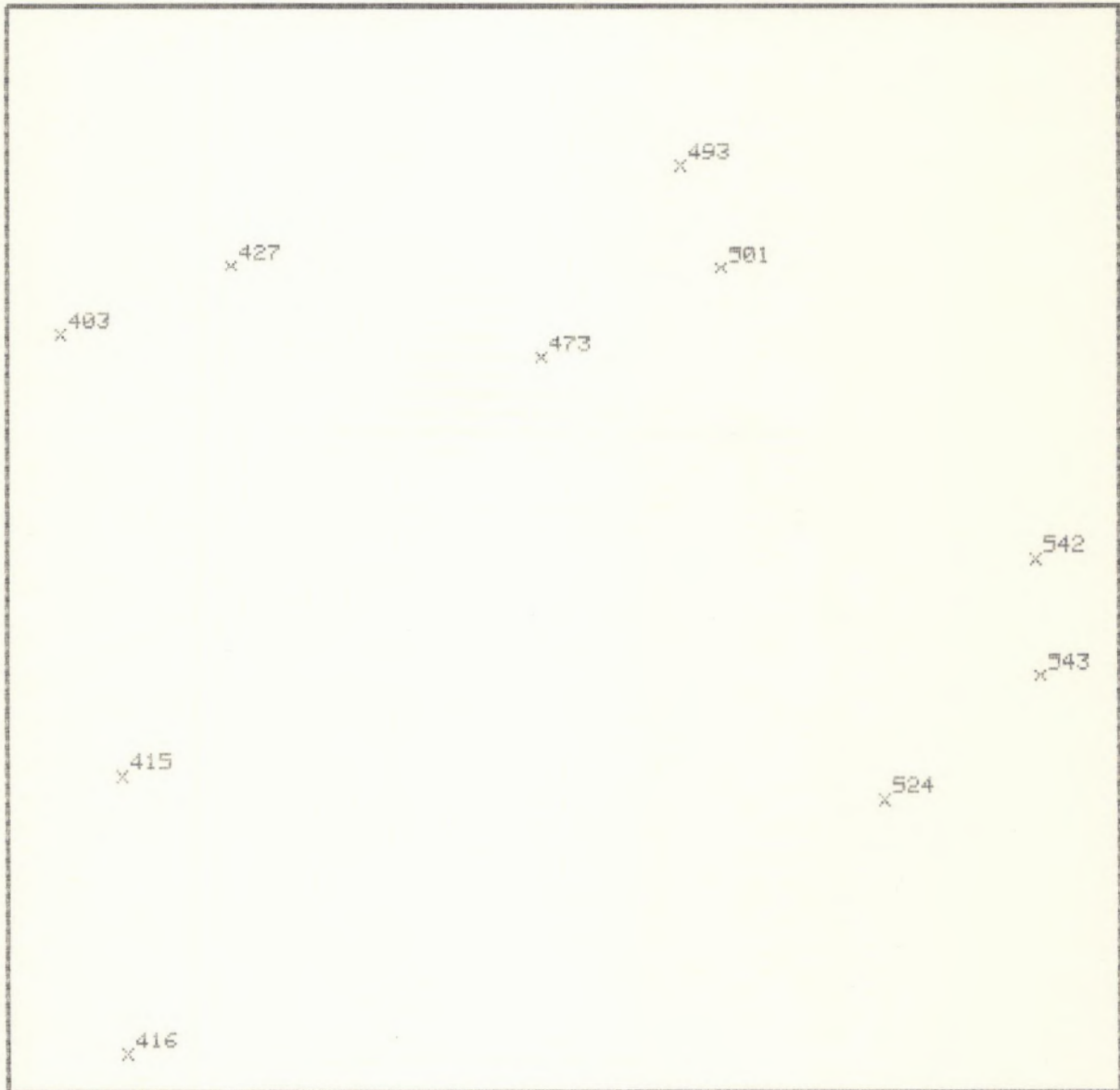
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0082

CAMPINAS - GRUPO 2 - 10 ESTRELAS



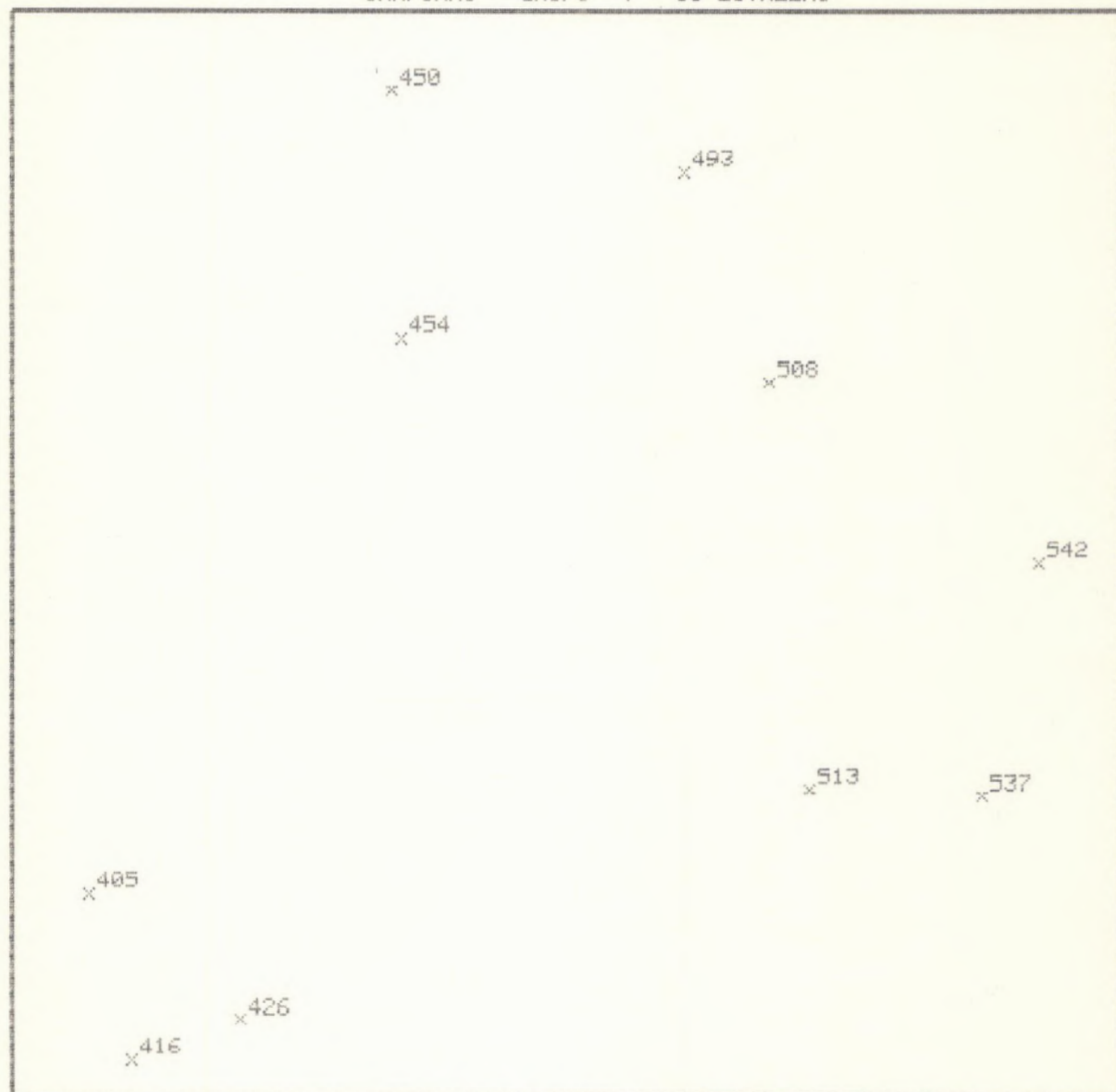
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0082

CAMPINAS - GRUPO 3 - 10 ESTRELAS



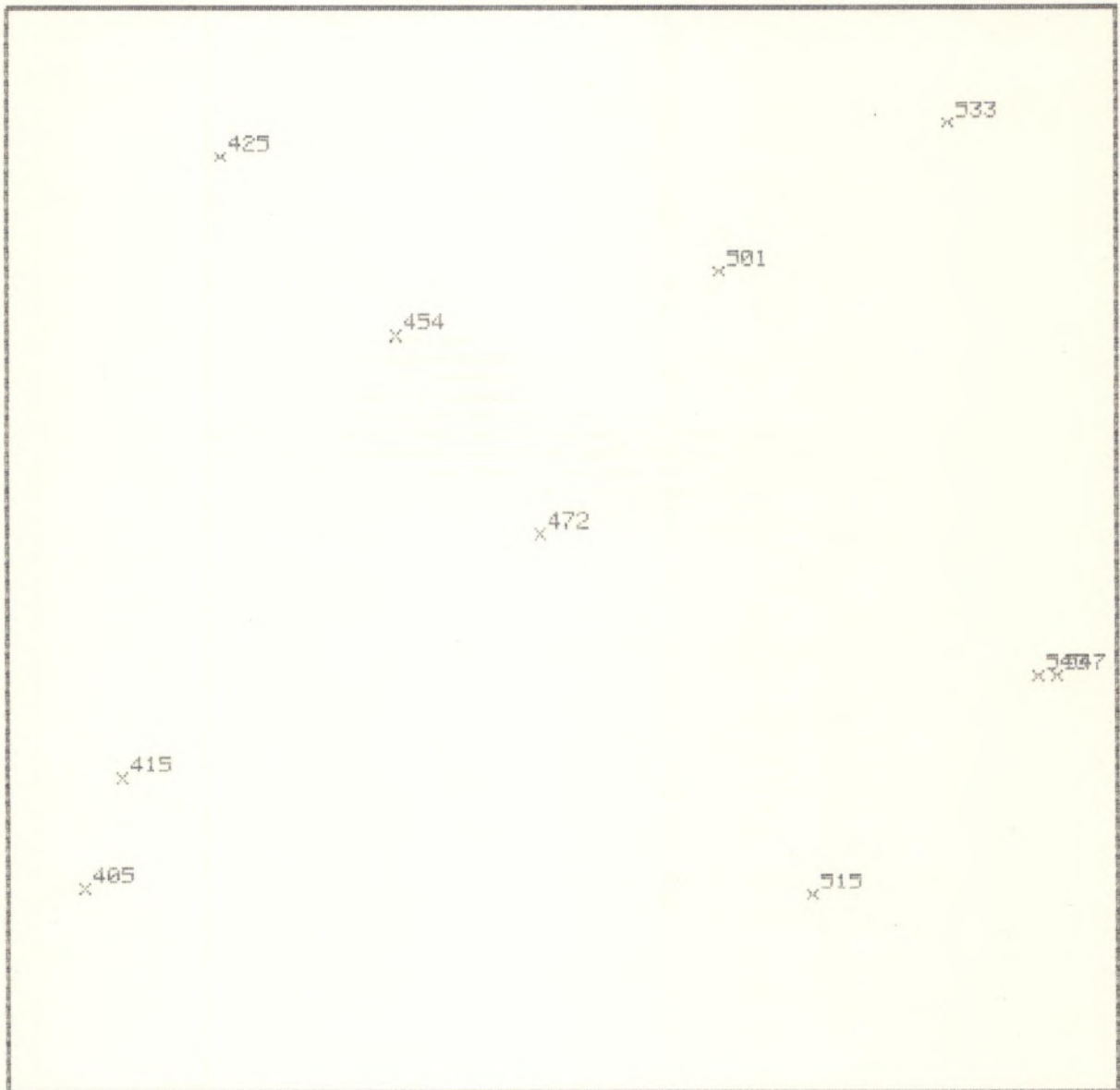
CODIGO DA PLACA - (O.U.) 0082

CAMPINAS - GRUPO 4 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0082

CAMPINAS - GRUPO 5 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.U.) 0082

CAMPINAS - GRUPO 6 - 10 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.U.) 0082

CAMPINAS - GRUPO 7 - 10 ESTRELAS



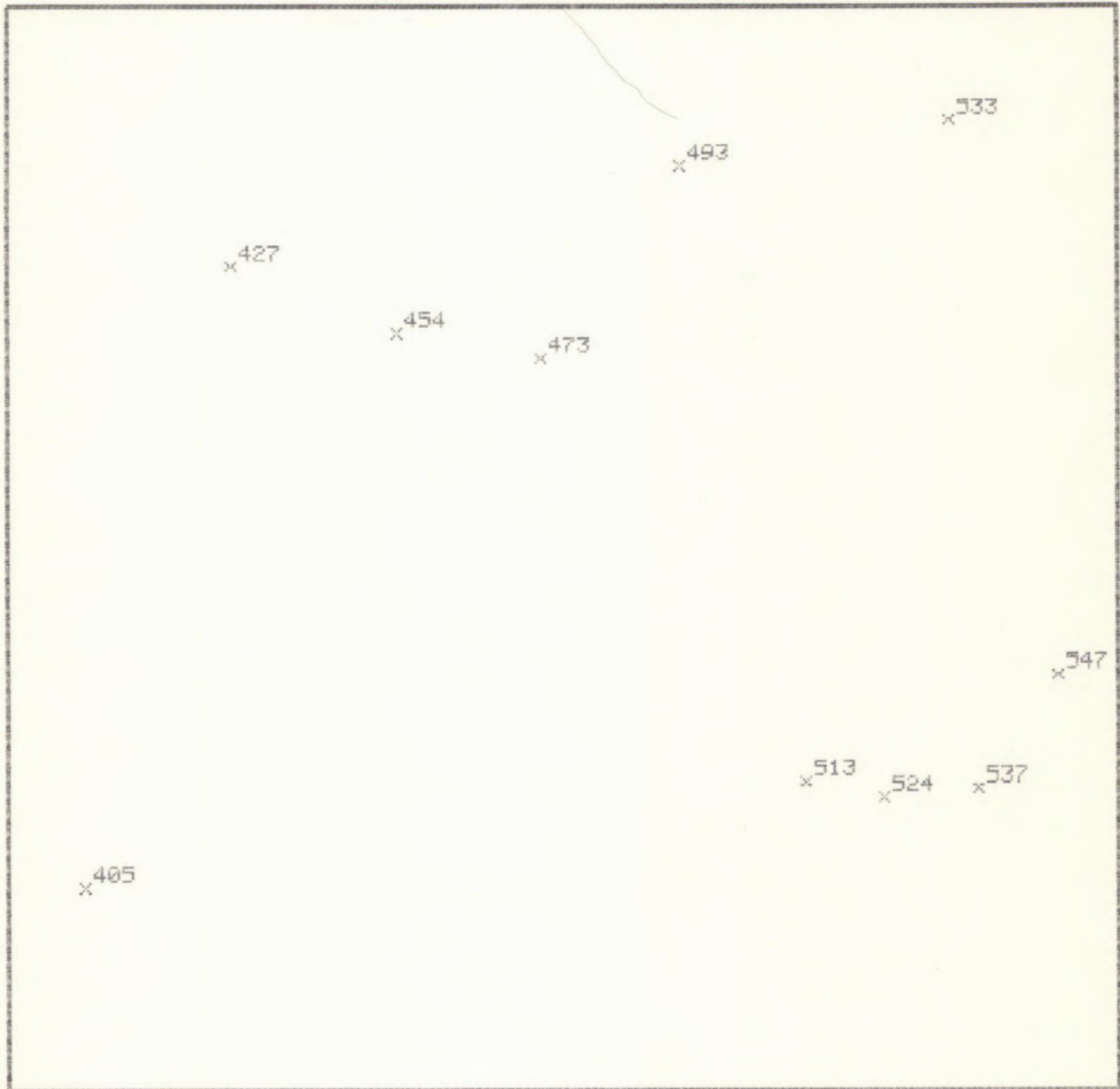
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0082

CAMPINAS - GRUPO 8 - 10 ESTRELAS



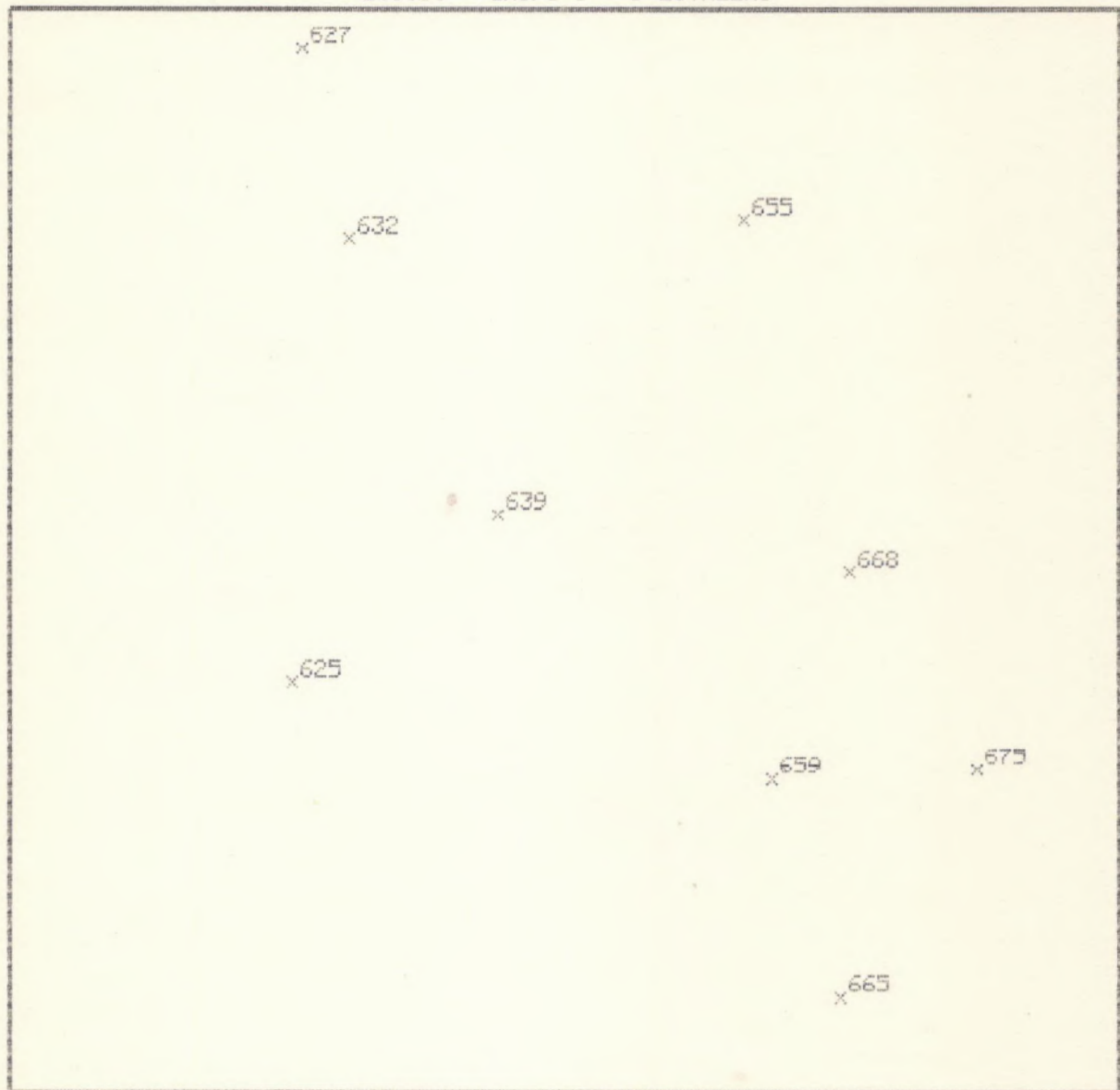
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 0082

CAMPINAS - GRUPO 9 - 10 ESTRELAS



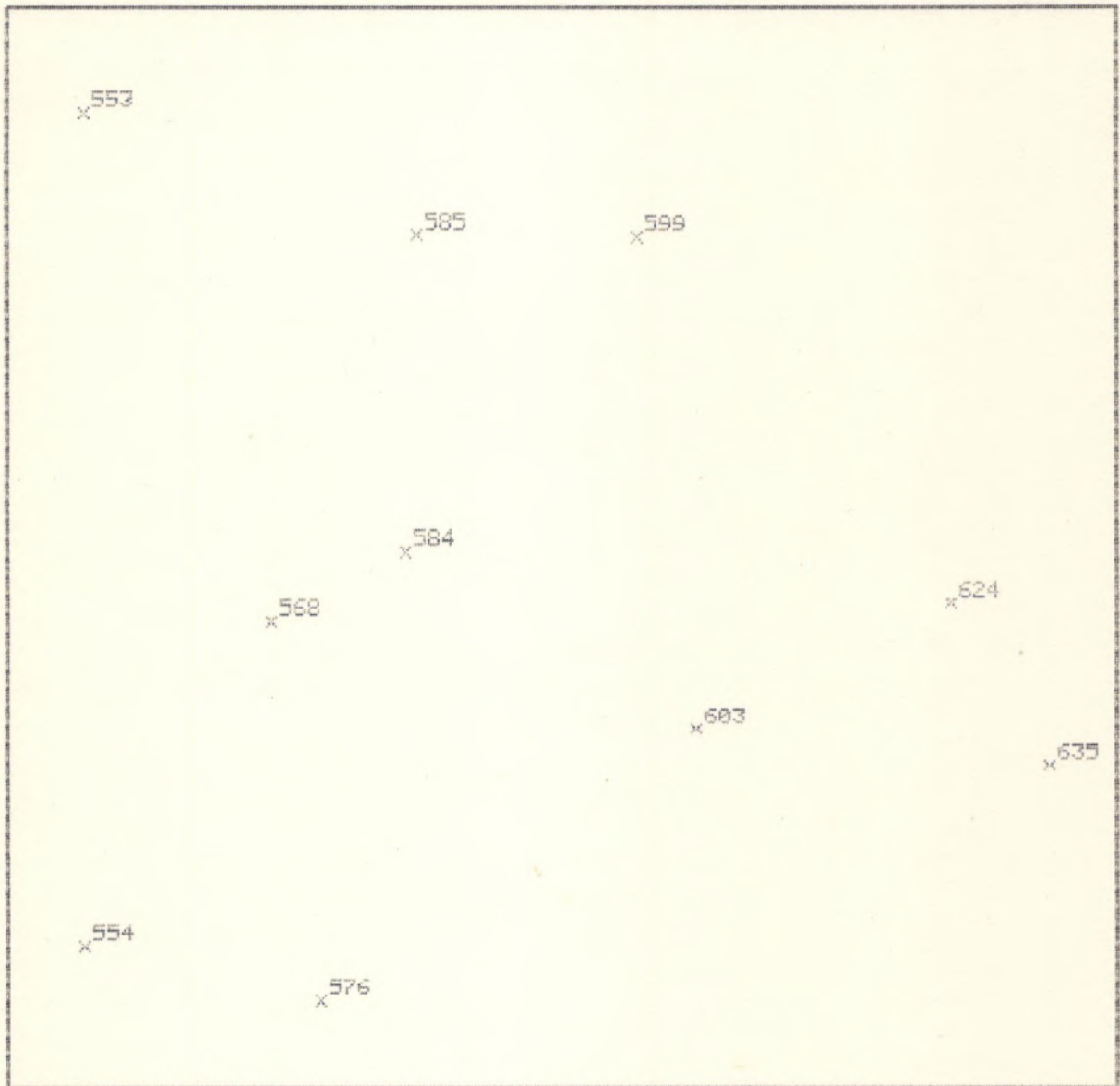
CODIGO DA PLACA - (O.U.) 0082

E.S.O. - GRUPO 1 - 9 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 2884

E.S.O. - GRUPO 2 - 10 ESTRELAS



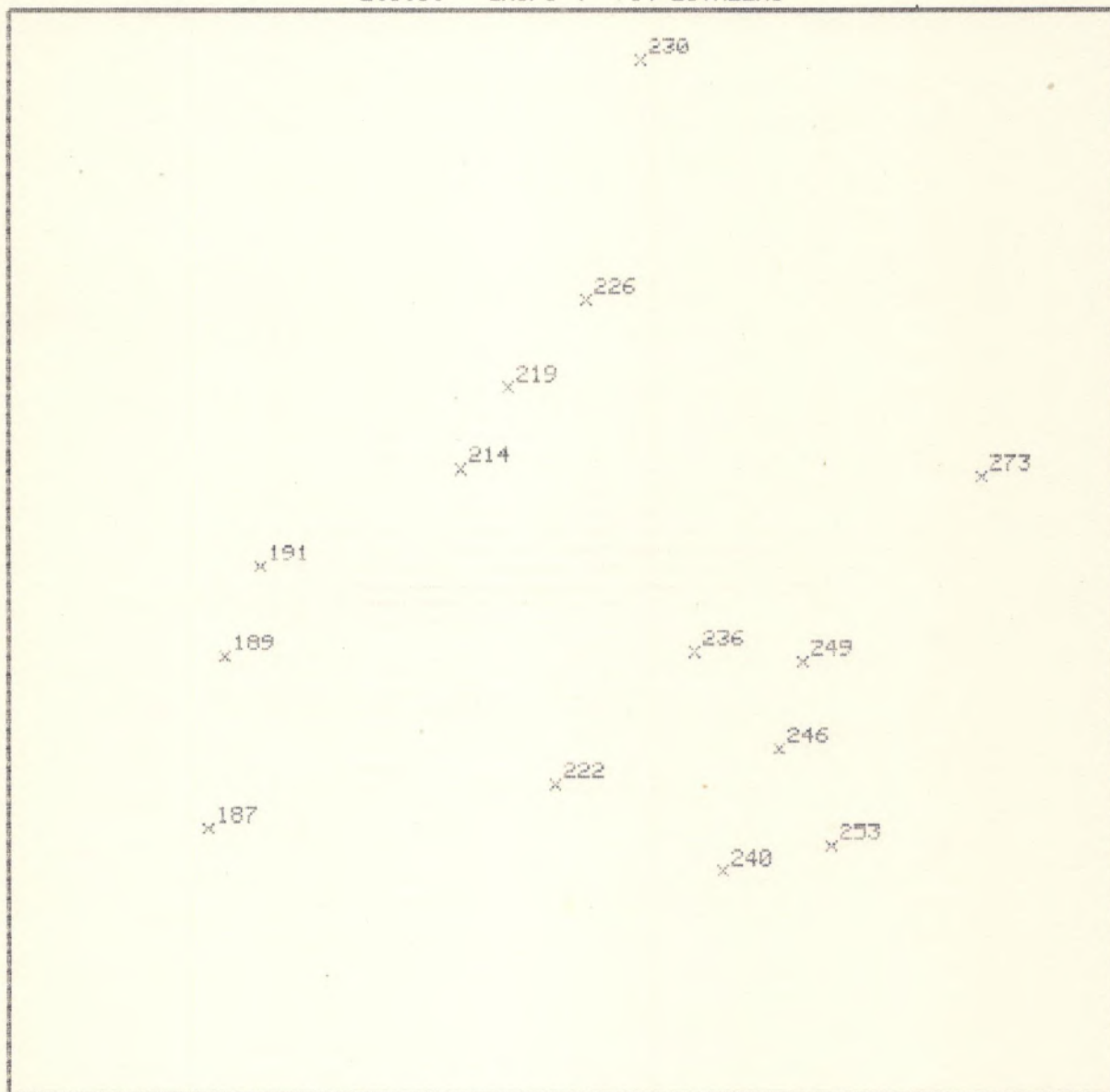
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 3588

E.S.O. - GRUPO 3 - 15 ESTRELAS



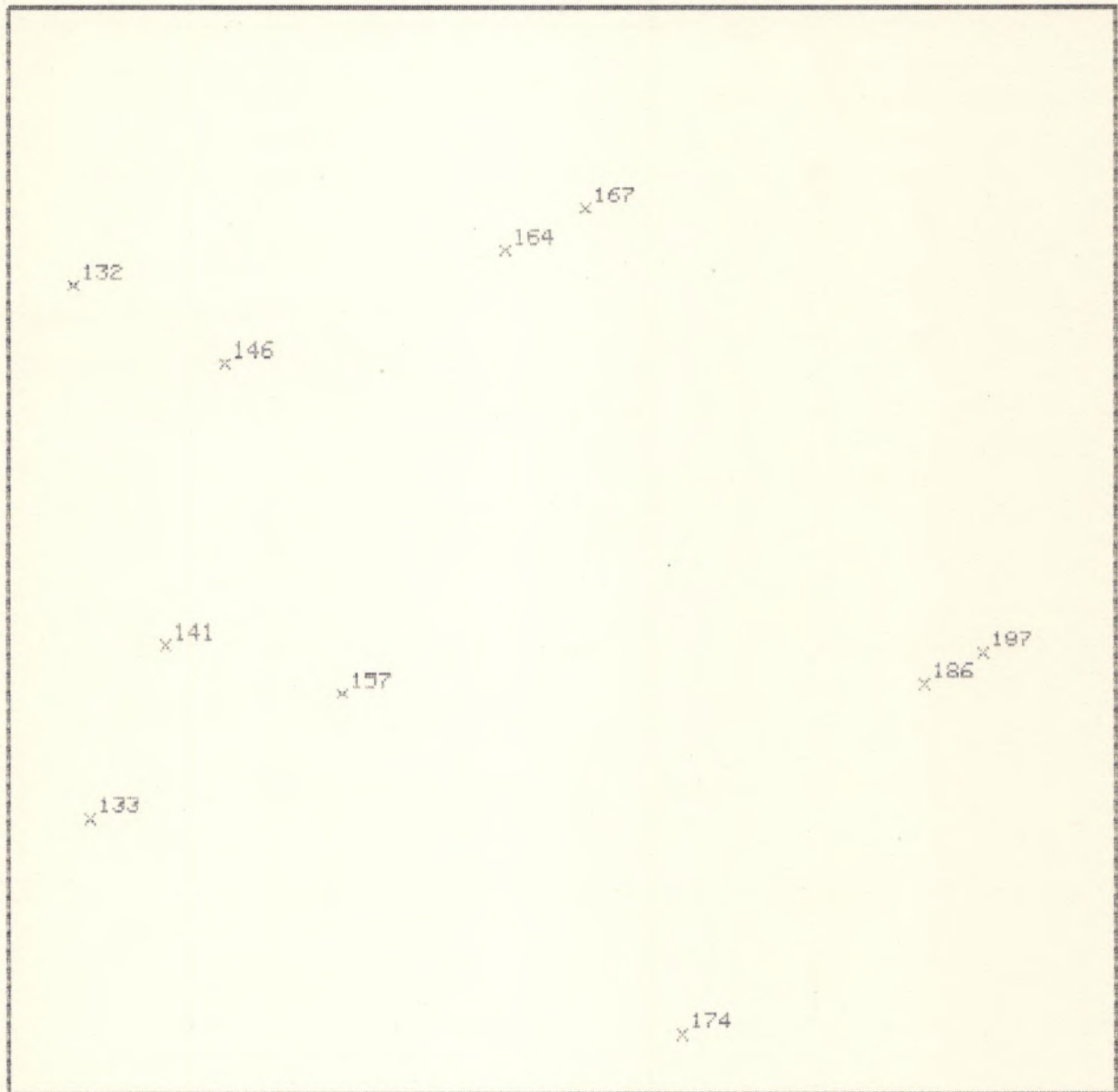
CODIGO DA PLACA - (O.U.) 3830

E.S.O. - GRUPO 4 - 14 ESTRELAS



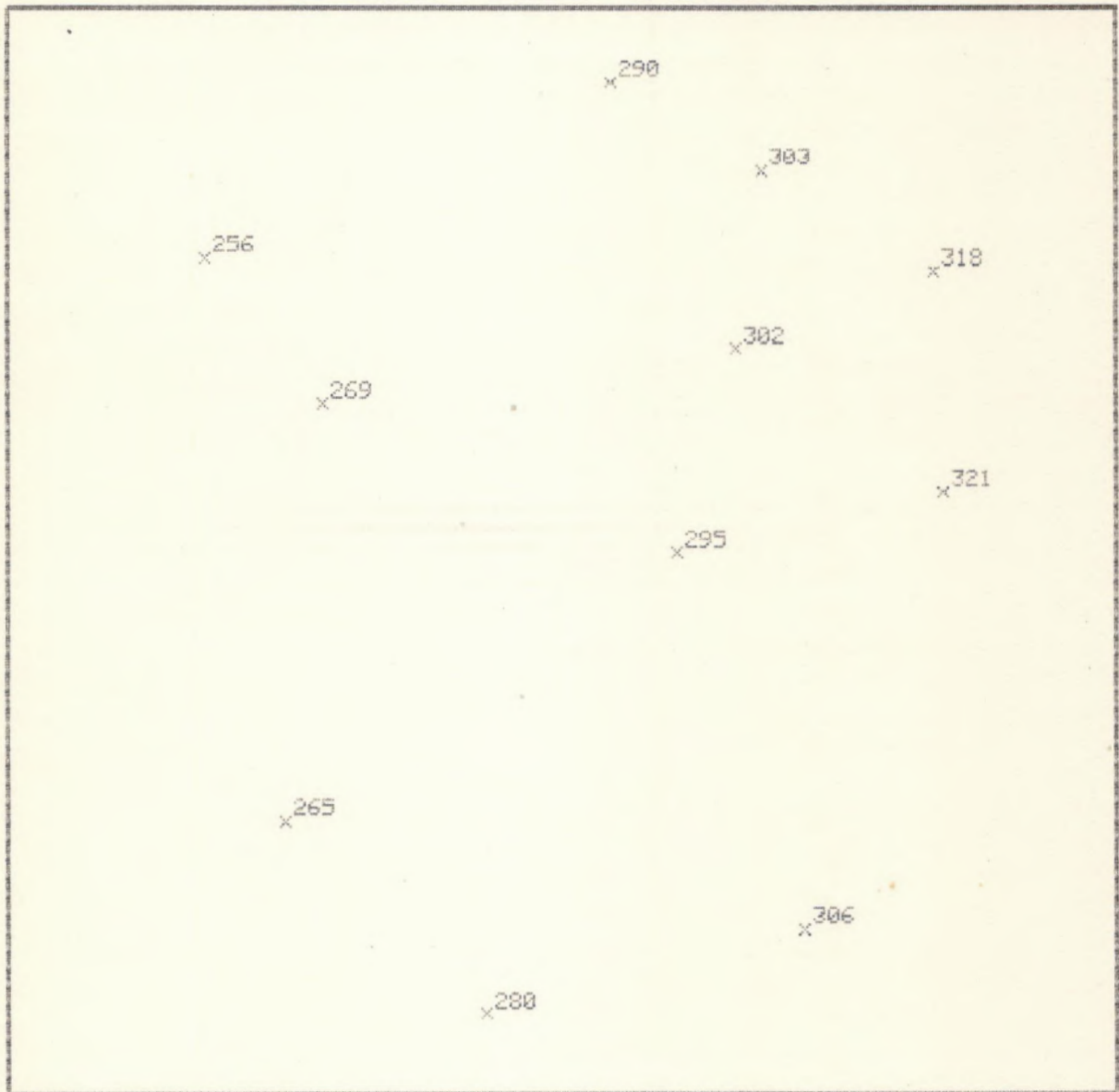
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 3876

E.S.O. - GRUPO 5 - 10 ESTRELAS



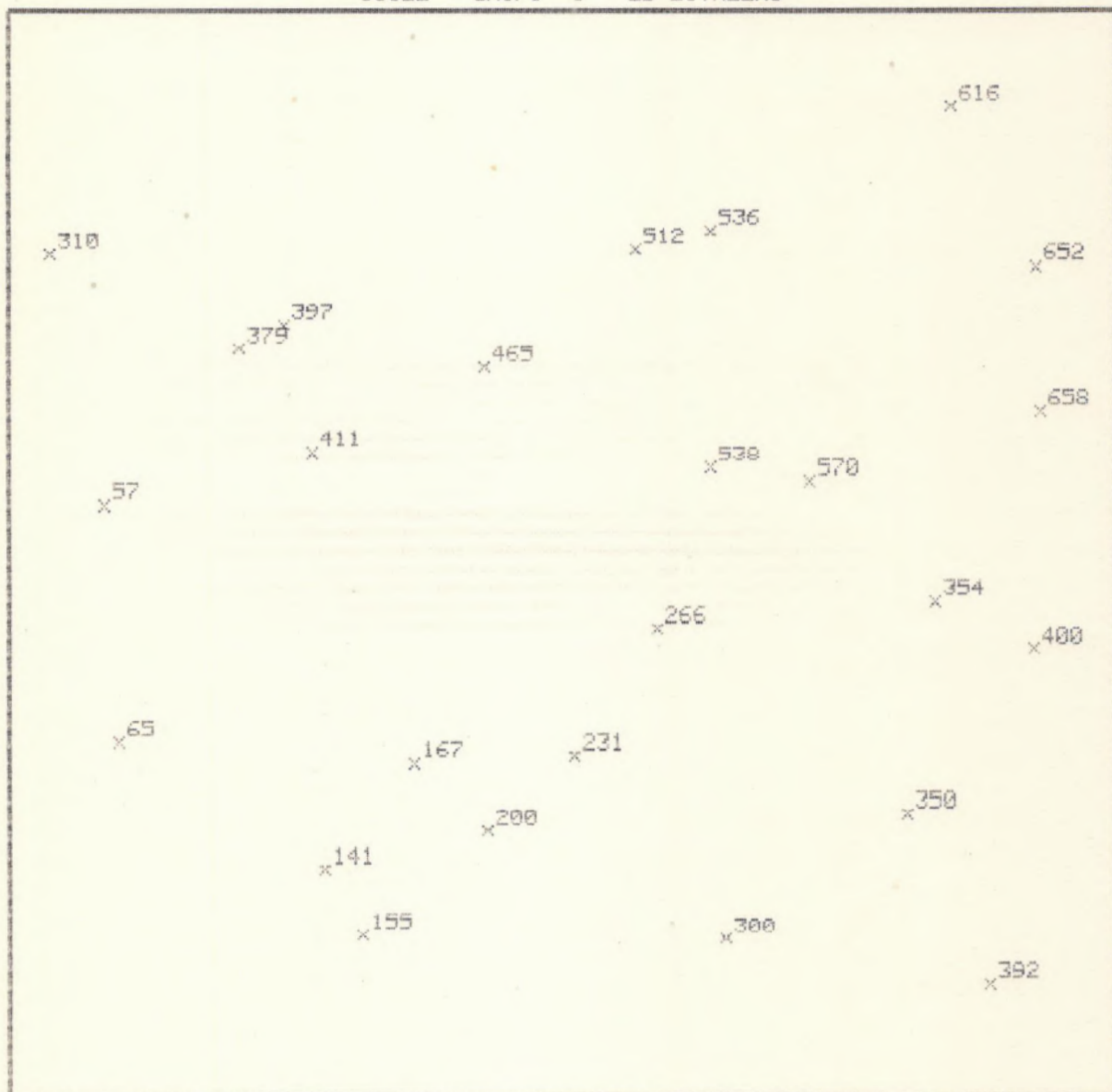
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 4695

E.S.O. - GRUPO 6 - 11 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 5263

UCCLE - GRUPO 1 - 25 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 4247

UCCLE - GRUPO 2 - 25 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.U.) 4247

UCCLE - GRUPO 3 - 25 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 4247

UCCLE - GRUPO 4 - 15 ESTRELAS



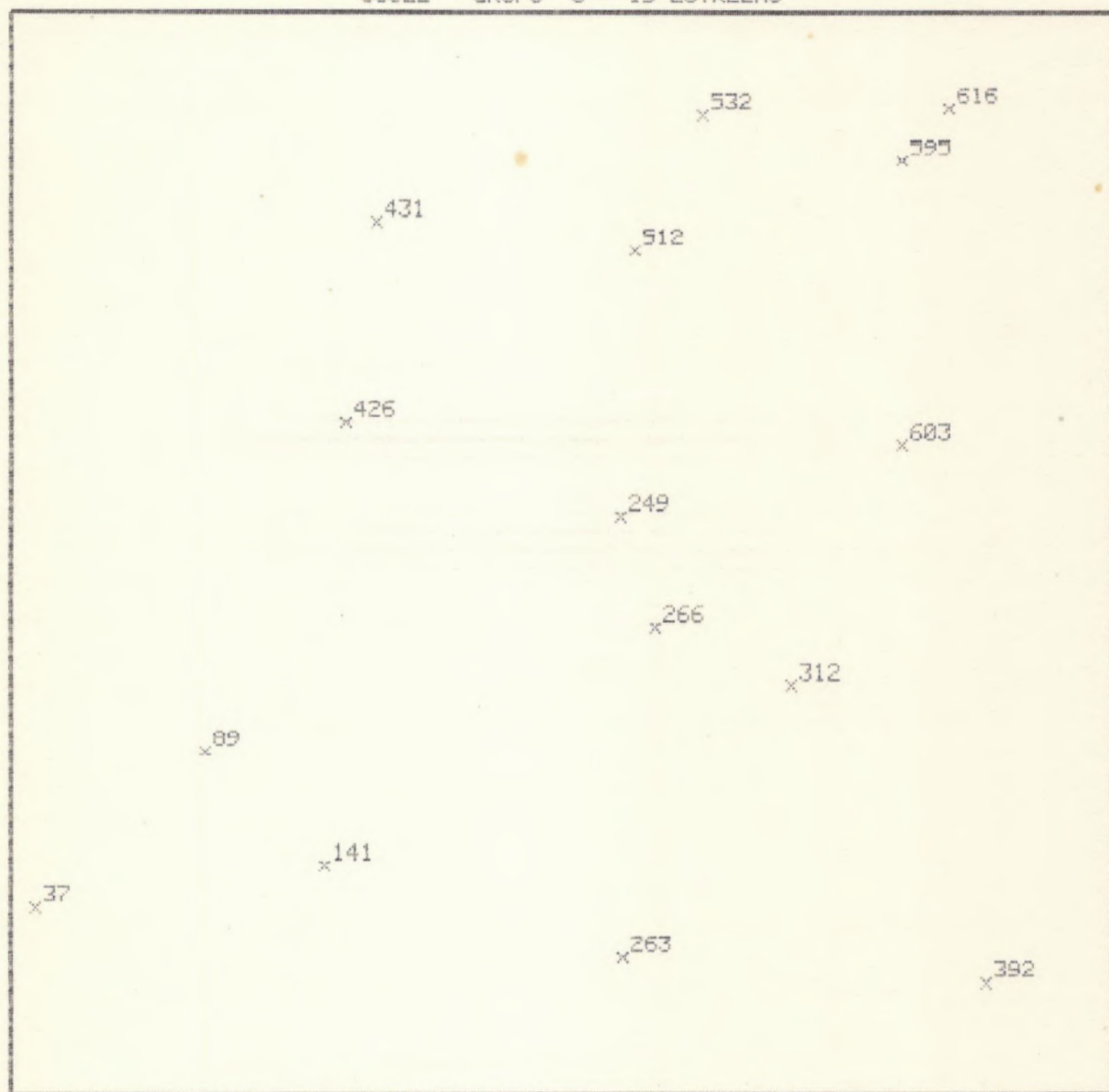
CODIGO DA PLACA - (O.V.) 4247

UCCLE - GRUPO 5 - 15 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.U.) 4247

UCCLE - GRUPO 6 - 15 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.U.) 4247

UCCLE - GRUPO 7 - 15 ESTRELAS



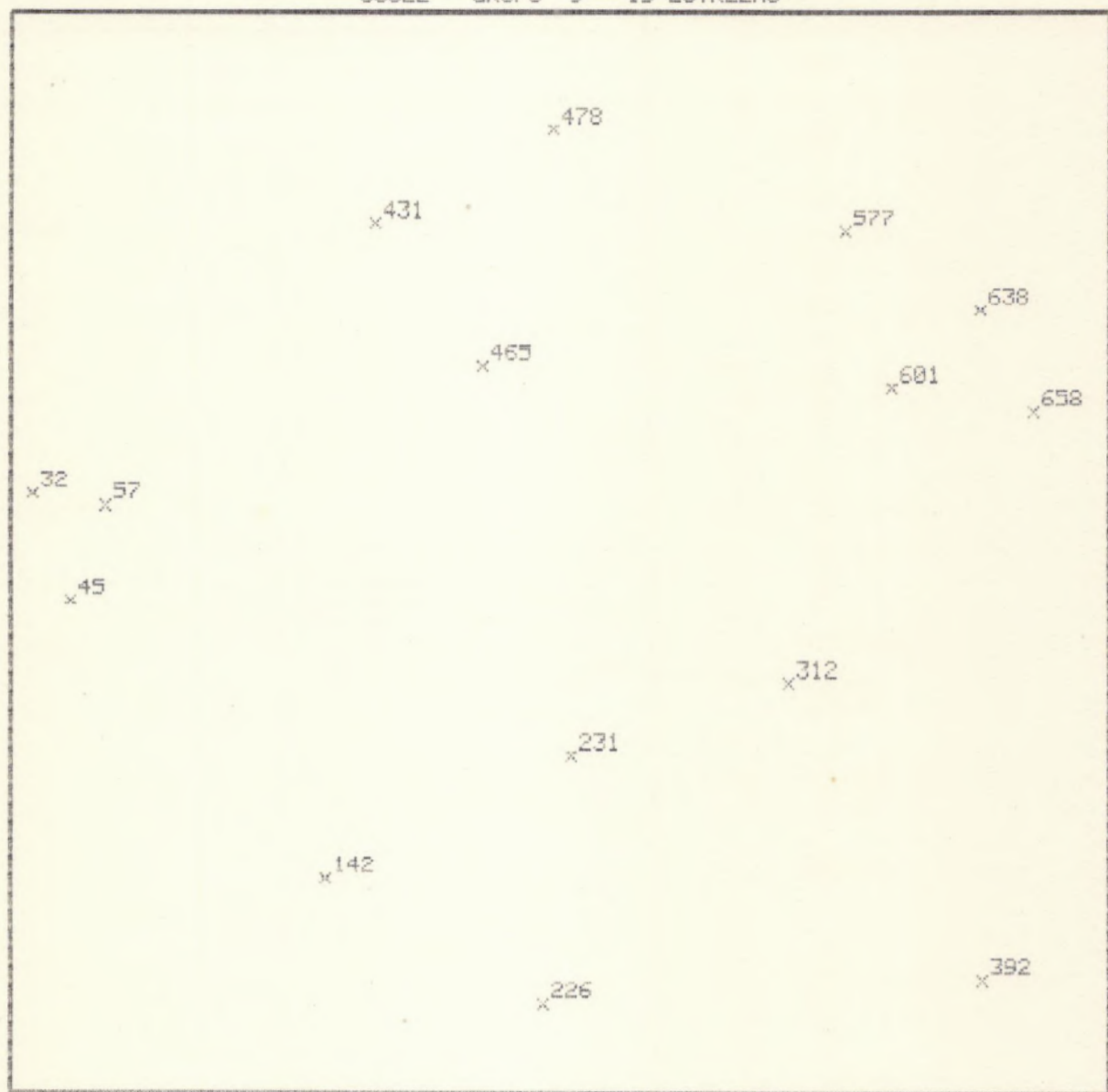
CODIGO DA PLACA - (O.U.) 4247

UCCLE - GRUPO 8 - 15 ESTRELAS



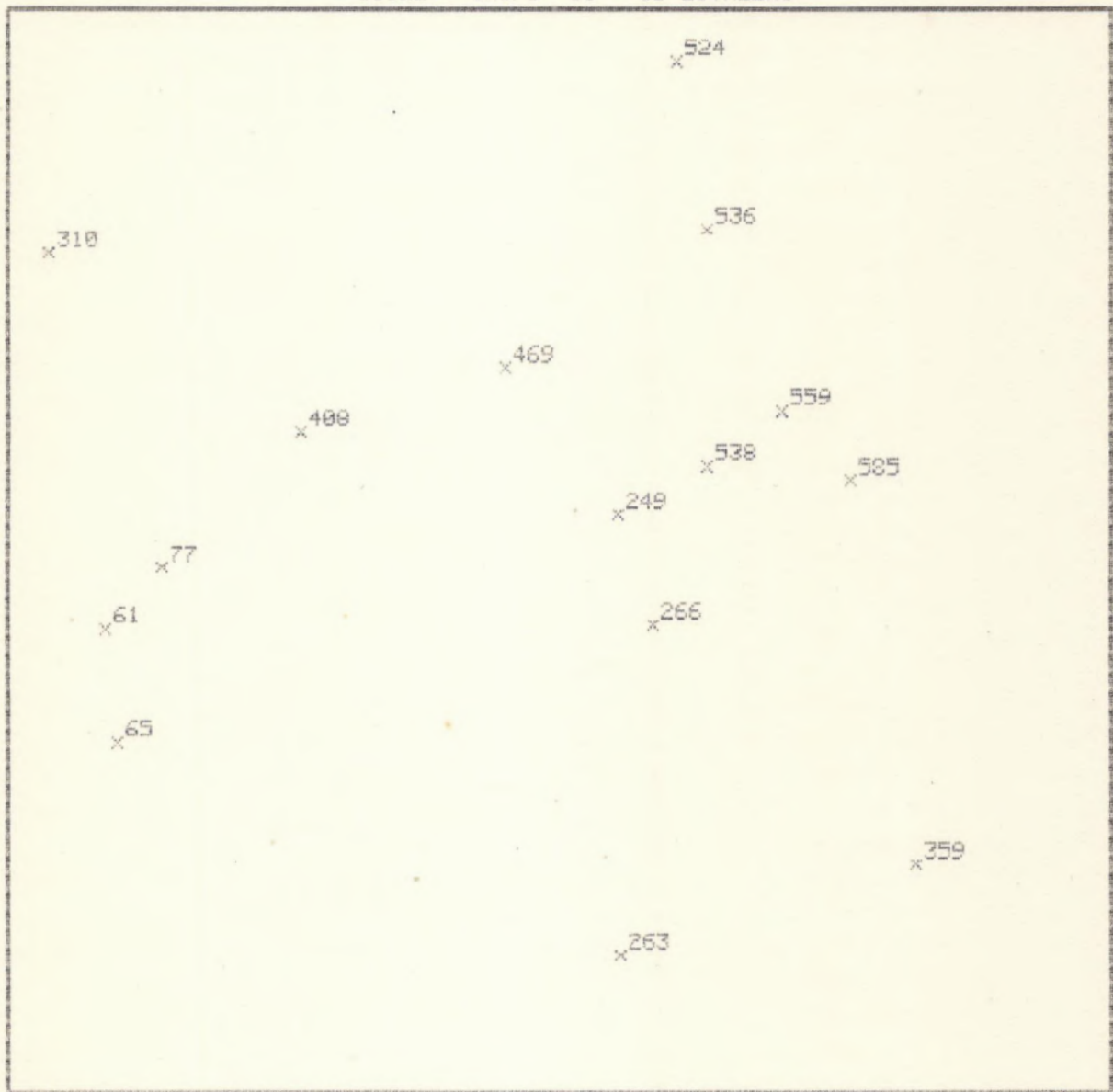
CODIGO DA PLACA - (O.U.) 4247

UCCLE - GRUPO 9 - 15 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.U.) 4247

UCCLE - GRUPO 10 - 15 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 4247

UCCLE - GRUPO 11 - 15 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.U.) 4247

UCCLE - GRUPO 12 - 15 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.U.) 4247

UCCLE - GRUPO 13 - 15 ESTRELAS



CODIGO DA PLACA - (O.V.) 4247