125

CPRM

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

DNPM / CPRM

CONVÊNIO GEOFÍSICA BRASIL-ALEMANHA

PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO AEROMAGNÉTICOS

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

ABRIL DE 1972

ARNALDO BOHN VIEIRA

Geólogo e Geofísico, CPRM

ELSON GOMES CORREIA

Eng. Civil e Geólogo, CPRM

RICARDO MOACYR DE VASCONCELLOS

Eng. Minas, CPRM

SUREMI
SEDOTE
ARQUIVO TÉCNICO
Relatório nº 125
Nº de Volumes: 1 V.:
OSTENSIVO

Rel VIAGEM
108

CPRM

APRESENTAÇÃO

I Generalidades

O Convênio Geofísica Brasil/Alemanha, assinado a 1º de junho de 1970 prevê, em seu artigo 2º, parágrafo 3º, o estágio de técnicos brasileiros na Alemanha.

Em cumprimento àquelas disposições e visando um aprimoramento em trabalhos de processamento e interpretação dos dados aerogeofísicos,os autores seguiram para Hannover a 1º de outubro de 1971.

O estágio teve duração de 180 dias, divididos em períodos de 60 e 120 dias.

No primeiro período acompanhou-se o processamento dos dados aeromagnetométricos, na PRAKLA-SEISMOS. O período seguinte foi empregado junto ao Bundesanstalt für Bodenforschung, analisando-se as bases teóricas e aplicação dos métodos de interpretação utilizados naquele instituto. Dessa fase constou também uma visita ao laboratório de determinação de constantes físicas de rochas do B.f.B.,em Einbeck.

II O método aeromagnetométrico

A aeromagnetometria é,hoje em dia, o método geofísico mais largamente empregado para a cobertura de grandes áreas. Os investimentos iniciais para a compra de aeronaves são compensados pela extensão dos perfis e amortizados pela rapidez dos levantamentos.

Os resultados desses levantamentos permitem elaborar-se, no mais breve prazo e a preço sem concorrência, um esboço geo-tectônico da área. Tais informações serão, evidentemente, tanto mais fidedignas quanto maior for a integração com outros métodos de prospecção.

Assim é que o fantástico crescimento das indústrias minerais do Canadá na década de '50 e da Austrália nos anos '60 deve-se a recobrimentos aeromagnetométricos sistemáticos. Por outro lado, 95% das jazidas de ferro da União Soviética foram descobertas através a prospecção geofísica, baseada em levantamentos aeromagnetométricos.

Isto permite inferir-se que, a exemplo daqueles extensos países, poderá o Brasil, ainda nesta década, experimentar seu "boom" mineral, pela racional e sistemática utilização de métodos geofísicos comprovados.

III Custo operacional

O custo operacional de um levantamento aerogeofísico varia com o método ou combinação de métodos a empregar. Tal despesa está sujeita ainda a fatores circunstanciais, como sejam: tamanho da área, distância das bases de pouso às áreas de medição, comprimento dos perfis, tipo de instrumento usado, condições atmosféricas, etc.

O preço de um reconhecimento aeromagnetométrico gira em torno de US $ 10,00/km, acrescido de US $ 2,00 quando combinado a cintilometria. Para interpretação são cobradas taxas de 10 a 15% sobre o custo/km. No Brasil, em condições normais, tem-se voado de 800 a 1.000 km de perfis/dia.

Nos levantamentos terrestres, o custo é, de modo geral, função da velocidade de execução. Esta, por sua vez, depende da extensão da área, clima, topografia, vegetação, acessibilidade e outros. Em condições médias e espaçamento de 20 m entre estações, um operador pode levantar 200 estações magnéticas/dia, perfazendo 4 km, a um custo aproximado de US $ 20,00/km.

IV Agradecimentos

Agradecemos ao Ministério das Minas e Energia, à C.P.R.M., ao

D.N.P.M. e a todos que nos auxiliaram no desempenho de nossa tarefa. Somos particularmente gratos ao Dr. Wilhelm Bosum, do B.f.B. , que nos orientou e assistiu.

ARNALDO BOHN VIEIRA

ELSON GOMES CORREIA

RICARDO MOACYR DE VASCONCELLOS

ABV/EGC/RMV/mcdl.

CPRM

RESUMO

O processamento de dados aeromagnéticos é um conjunto de operações matemáticas que visa expurgar as eventuais falhas de campo, corrigí-los da variação magnética diária e dos erros de fechamento, levar todos os valores medidos dentro de uma mesma área a um plano datum e eliminar o campo geomagnético, para a elaboração de mapas de isoanomalias.

A interpretação dos mapas de isoanomalias magnéticas, para pesquisa mineral, se faz segundo processo indireto. As anomalias de contornos suaves são isoladas - fase qualitativa - e comparadas com os efeitos de modelos geométricos simples e magneticamente homogêneos - fase quantitativa. As diferenças são minimizadas por meio de ajustamentos nos parâmetros dos modelos, ou seja; tentativa e erro, nome pelo qual é conhecido o método. A depender da forma das anomalias utilizam-se modelos bidimensionais; placa delgada, placa espessa e cilindro horizontal ou tridimensionais; esferas e dipolos.

CPRM

ÍNDICE DOS ASSUNTOS

pg.

1. INTRODUÇÃO..... 1
2. PROCESSAMENTO..... 2
   2.1. AIRL..... 2
   2.2. AIRV..... 4
      2.2.1. Número do perfil..... 4
      2.2.2. Eliminação total ou parcial de perfis..... 5
      2.2.3. UI..... 5
      2.2.4. VI..... 6
      2.2.5. TI..... 6
      2.2.6. TK..... 6
      2.2.7. Desmembramento de blocos..... 7
   2.3. AIRN..... 7
   2.4. ARTK..... 10
   2.5. VARI..... 11
   2.6. REGI..... 13
   2.7. LLP 1G/LMRB..... 13
3. INTERPRETAÇÃO..... 15
   3.1. Cálculo do efeito de modelos bidimensionais..... 15
      3.1.1. Placa delgada..... 20
      3.1.2. Placa espessa..... 22
      3.1.3. Cilindro horizontal infinito..... 23
   3.2. Interpretação qualitativa..... 24
   3.3. Interpretação quantitativa..... 26
      3.3.1. Método dos mínimos quadrados..... 26
      3.3.2. Utilização do programa..... 31
         3.3.2.1. Anomalias conjugadas..... 32
         3.3.2.2. Placas delgadas e cilindros..... 33

CPRM

pg.

3.3.2.3. Placas espessas..... 36

3.4. Resultados..... 40

Bibliografia..... 42

CPRM

PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO AEROMAGNÉTICOS

1. INTRODUÇÃO

A prospecção geofísica se inicia com a coleta de dados no campo, medindo parâmetros que levam ao conhecimento de propriedades físicas da crosta, como seja a intensidade do campo geomágnético.

Posto que ainda brutas, as medidas de campo requerem uma conveniente manipulação, denominada processamento ou compilação, entre os anglo-saxões.

Os dados processados são cartografados, para que, então, se possa expressá-los em termos geológicos, vale dizer interpretá-los.

O esquema do processamento e interpretação do levantamento aeromagnetométrico de Minas Gerais, conforme realizados na Alemanha pela PRAKLA e B.f.B., respectivamente, será o assunto deste trabalho.

2. PROCESSAMENTO

O processamento de dados aeromagnéticos é um conjunto de operações matemáticas que visa expurgar as eventuais falhas de campo, corrigí-los da variação magnética diária e dos erros de fechamento, levar todos os valores medidos dentro de uma mesma área a um plano datum e eliminar o campo geomagnético, para a elaboração de mapas de isoanomalias.

Essas operações são realizadas por etapas,que correspondem aos vários programas utilizados pela PRAKLA, a saber:

2.1. AIRL

2.2. AIRV

2.3. AIRN

2.4. ARTK

2.5. VARI

2.6. REGI

2.7. LLP 1G/LMRB (cartografia)

2.1. AIRL

Esse programa transcreve os registros de campo para fita magnética,listando-os e assinalando erros ou omissões, de acordo com critérios informados à máquina. Os "BU" são simplesmente ignorados. As pranchas 1 e 2 mostram o fluxograma e a listagem de um programa (MAGL) equivalente ao AIRL.

Por meio de cartões perfurados transfere-se ao computador o número do perfil, número da área, número código para cidade base e data do levantamento. Da mesma forma, são transmitidos os critérios para definição de erro e sua detecção, os quais vêm no cabeçalho da listagem, prancha 3, como se segue:

D2TI=segunda diferença máxima p/valores consecutivos de tempo
D2UI=segunda diferença máxima p/valores consecutivos de U
D2VI=segunda diferença máxima p/valores consecutivos de V
D2KI=
D2K2=segunda diferença máxima p/valores consecutivos de cinti (lometria - 3 canais
D2K3=
D2TK=segunda diferença máxima p/valores consecutivos magnéticos
D2HG=segunda diferença máxima p/valores consecutivos altura de (vôo

A segunda diferença é calculada pela fórmula:

$$V_i+V_{i-2}-2V_{i-1} \leq \varepsilon$$

TKAZ=nº de valores magnéticos entre 2 informações de posiciona (mento
SCAZ=nº de valores cintilométricos entre 2 informações de posi (cionamento
ZEIT=tempo, em unidades de 20 segundos

Abaixo de cada ítem vem o máximo valor aceitável pelo programa.

Os valores discrepantes de ε são apontados com o sinal $<$, não sendo necessariamente errados, em se tratando de; D2UI (em 20 segundos pode-se ter de 1100 a 1500 metros); D2VI, (conforme a deriva); TKAZ e SCAZ. Como geralmente antes da primeira marca de posicionamento e depois da última TKAZ e - SCAZ são menores que 20, tais conjuntos são quase sempre assinalados.

Os conjuntos de valores magnéticos e/ou cintilométricos entre duas marcas de posicionamento consecutivas são numerados. O primeiro bloco, ou seja,o que precede à primeira marca de posicionamento leva o número -1 (menos um). Assim, cada medida geofísica é determinada por 2 ordinais: o número do bloco a que pertence e um ordinal que define sua posição dentro desse bloco.

São listados a seguir:

K-NR=nº do conjunto de valores magnéticos e/ou cintilométricos.
TI=valor das marcas fiduciais.
H,M,S,=conversão de TI em horas, minutos e segundos.
UI= along-track.
VI=cross-track.
NK1,NK2,NK3=nº de valores cintilométricos, por conjunto (3 canais).
NH=nº de valores de altura de vôo.
TK=último valor magnético do conjunto;abaixo de TK vem o nº de valores magnéticos e/ou cintilométricos no conjunto, assinalados quando ≠ 20.

Quando ocorre um erro nos valores magnéticos (e/ou cintilométricos) é feita a listagem das medidas geofísicas. O valor discrepante é evidenciado com o sinal ∧ , ao lado do qual vem o número de ordem daquele dado dentro do bloco. Tais informações serão utilizadas para se fazer as correções no programa seguinte - AIRV.

Além dessas falhas mais comuns, a listagem do AIRL acusa: número do perfil errado, valores de "along-track" discrepantes da sequência normal de medição, fusão de dois blocos em um só (mais que 20 valores magnetométricos) e separação de um bloco em dois (soma dos respectivos TKAZ em torno de 20).

2.2. AIRV

O AIRV, que descreveremos abaixo, permite corrigir quase todos os erros verificados no programa anterior. As folhas de codificação respectivas são as pranchas 4 e 5.

2.2.1. Número do perfil

Ocasionados por omissão do navegador ou defeito na

perfuração. O número certo é controlado pelo exame das guias de remessa de material ("Lieferschein").

Outras vezes o computador divide um perfil e toma como número de perfil da segunda parte um dos valores de magnetismo ou de posicionamento. É fácil diagnosticar a ocorrência, pois são inventados números abstrusos, incompatíveis com o sistema em uso e a área de trabalho. Outra evidência é a não coincidência dos tempos de perfilagem e aqueles das folhas de operação.

2.2.2. Eliminação total ou parcial de perfis

Este procedimento se aplica mais aos perfis de variação diurna, dos quais só se transcreve para fita magnética o intervalo de tempo correspondente ao horário de registro aéreo. A operação não é propriamente de correção, mas de compilação mais adequada e econômica. Usa-se também eliminar partes muito perturbadas de perfis aéreos, as quais deverão ter sido repetidas.

2.2.3. UI

Só pode ser corrigido quando ocasionado por defeito de perfuração. Isso pode ser constatado graças ao fato de que, para determinado trecho do perfil, os ΔUI se apresentam quase constantes. Se, dentro desse trecho, existem dois ΔUI contiguis e anômalos, mas cuja média aritmética é bastante próxima do valor médio do trecho, pode-se corrigir o valor de UI aberrante, usando-se aquele valor ΔUI médio. Outros erros podem surgir em virtude mesmo de defeitos no sistema de navegação, cuja correção é feita no programa AIRN.

CPRM

2.2.4. VI

Não há critério para se decidir quando há, ou não, erro de VI. Caso especial é o do último VI de um perfil ser da ordem de km (o que fatalmente se refletirá no UI). Isso se dá quando o navegador desliga prematuramente o sistema de registro, antes do término do perfil. Em consequência, esses últimos dados de navegação correspondem, na realidade, ao perfil seguinte. A correção é feita por análise dos filmes, se eles não apresentarem o mesmo defeito, por estimativa ou, simplesmente, cancelando-se os dados.

2.2.5. TI

No sistema de navegação, um cruzamento de perfis ou PP é caracterizado por TI ou UI. O computador é programado para, lido TI_j, procurar UI_j entre TI_j e TI_{j+1}. É prevista uma exceção quando se trata do primeiro TI do perfil. Dado TI_1, o UI_1 será procurado também cronologicamente antes do TI_1. Dentro dessa lógica deve-se informar TI_1, ainda que o PP esteja cronologicamente antes dessa marca. O desconhecimento desse detalhe tem causado problemas aos programadores, obrigando-os a reexaminar os filmes.

2.2.6. TK

É possível eliminar, acrescentar ou alterar valores magnéticos.

Devido à não sincronização entre o magnetômetro e o computador de vôo, podem aparecer dados magnetométricos nulos dentro de um bloco. Esses valores são ajustados por média aritmética entre as medidas contiguas ou

através uma curva traçada na vizinhança do erro.

Outro fenômeno é a interferência eletromagnética nas medidas, causada por indústrias (como a Usiminas na área 9), grandes cidades ou tempestades magnéticas. O registro se torna errático e, evidentemente, não corresponde à medida do magnetismo terrestre. Para corrigir a parte afetada, traça-se no perfil analógico uma curva média (interpretativa), consoante à forma e aos valores anterior e posterior à perturbação (prancha 6). Sobre essa curva interpolada lê-se os últimos valores magnetométricos de cada bloco e ainda os dois valores extremos, cada valor com o seu respectivo TI. Esses dados são fornecidos ao computador, que faz passar parábolas entre esses pontos e interpola os valores intermediários.

2.2.7. Desmembramento de blocos

O código indicativo de fim de bloco é um ponto. Se, por falha da perfuradora, este ponto for omitido, o computador unirá esse bloco ao seguinte. Nessas condições teremos $\Delta TK > 20$, assinalado automaticamente na listagem do AIRL.

2.2.8. União de blocos contiguos

Aqui dá-se exatamente o contrário do ítem anterior. É perfurado indevidamente um ponto no meio de um bloco. A diagnose também é simples quando no meio de um perfil tem-se: $\Delta TK_i + \Delta TK_{i+1} = 20$

2.3. AIRN

Destina-se a amarrar o levantamento topográfico aéreo a vértices de triangulação sobrevoados, cujas coordenadas UTM X

CPRM

e Y são conhecidas e informadas ao computador por meio de cartões perfurados. As coordenadas u e v são transformadas em X e Y e comparadas com as dos vértices. Os desvios lineares e angulares são ajustados e listados para verificação. Ver fluxograma e listagem, pranchas 7 e 8.

Cada perfil necessita de, pelo menos, 2 pontos de amarração, definidos por suas coordenadas UTM, dados esses que vêm do campo na folha de codificação do AIRN e entram no computador através de cartões perfurados. Para maior simplicidade, tomemos um perfil, definido por seus pontos extremos

$$A\ (x_a,\ y_a) \quad e \quad B\ (x_b,\ y_b).$$

A distância $\overline{AB}$ é dada por:

$$L=\left[(\Delta x)^2+(\Delta y)^2\right]^{1/2} \qquad (1)$$

sendo a direção média de L dada por:

$$R = \text{arctg}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) \qquad (2)$$

As coordenadas u e v do sistema de navegação do avião , são transformadas em UTM.

O computador calcula a distância teórica média S, entre 2 marcas fiduciais através da fórmula:

$$S = \frac{L}{n+\left(\dfrac{u_a}{u_o-u_1}\right)+\left(\dfrac{u_b}{u_n-u_{n+1}}\right)}$$

onde: n =número de marcas fiduciais no intervalo $\overline{AB}$

u_a =coordenada UI do PP "A"

u_b =coordenada UI do PP "B"

u_o, u_1=UI das marcas fiduciais, entre as quais se encontra "A"

u_n, u_{n+1}=UI das marcas fiduciais, entre as quais se encontra "B"

CPRM

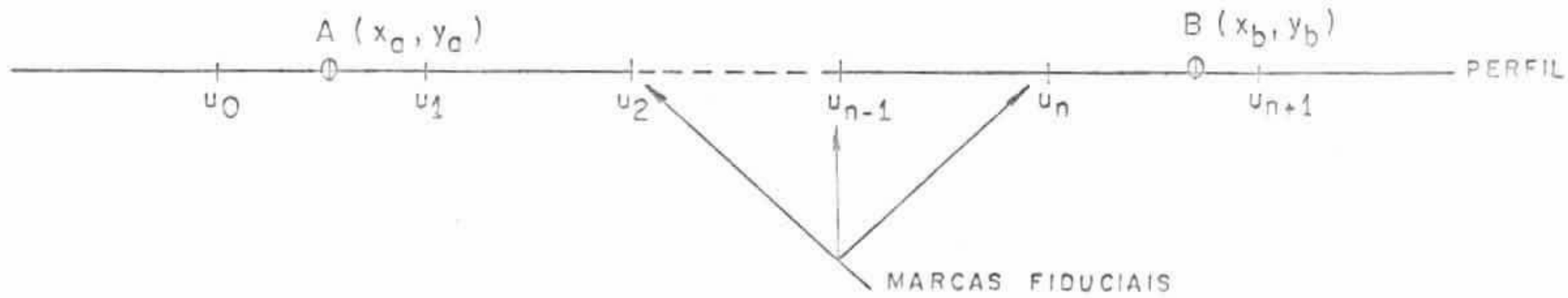


Fig. 1

Obtida a distância teórica média S, o computador calcula o erro entre 2 marcas fiduciais consecutivas (DSI) pela subtração: $DSI_i = S_i - S$, sendo S_i o comprimento da distância i entre 2 marcas consecutivas. Também calcula o erro de direção entre a direção média do perfil, determinada através de (2), e a direção de 2 marcas consecutivas (R_i): $DRI*10 = R_i - R$, em g/10.

No cabeçalho da listagem de saída vem o número do perfil e sistema de navegação utilizado, e mais:

L =comprimento do perfil em quilômetros.
R =direção média, em décimos de grado (g/10).
S =distância média entre duas marcas fiduciais.
Q_{max}=máximo desvio lateral para a direita, em m.
Q_{min}=máximo desvio lateral para a esquerda, em m.

Abaixo são listados, horizontalmente; TI, XI, YI, DSI e DRI*10, onde TI é o valor da marca de tempo. A primeira e última marcas são extrapoladas e precede-as o sinal - (menos); as demais vem precedidas de + (mais). Os valores que correspondem a vértices de triangulação vem precedidos de 1 (um).

Como se vê,não se fixam limites para os desvios,como nos programas anteriores e cabe ao programador decidir-se a investigar se alguns erros de fechamento são aceitáveis ou não. Em princípio, desvios de até ± 3 metros no DSI são considerados normais. Acima desse limite deve-se verificar se as coordena

CPRM

das dos pontos de controle foram compiladas com exatidão no campo (distração relativamente comum) ou ainda se os TI e UI de cruzamentos de perfis correspondem e estão certos (lapso eventual). Essa pesquisa é feita na listagem do AIRN e nos filmes (daí a permanência dos mesmos na PRAKLA).

Os erros provenientes de defeitos no sistema de navegação, já observados nos AIRL (grandes diferenças de ΔU) e que não puderam ser remediados no AIRV serão agora corrigidos. Separa-se o trecho anômalo e transporta-se as coordenadas dos PP até suas proximidades, usando valores confiáveis U e V (ΔU ≈constante) de A para C e de B para D. Dessa maneira teremos: C e D, pontos auxiliares, entre os quais, e só entre eles, será feita a distribuição de correção. Este procedimento evita que o programa faça a distribuição por todo o perfil- $\overline{AB}$, incluíndo os trechos $\overline{AC}$ e $\overline{DB}$, considerados bons.

Fig. 2

Feitas essas correções, a topografia está terminada e os perfis prontos para serem cartografados.

2.4. ARTK

Este programa é corrido simultaneamente com o AIRN e tem duas finalidades.

Em primeiro lugar, transmite ao computador as informações da folha de codificação ARTK preenchida na equipe. Tais informações são a data de realização de cada perfil, na qual, e somente nela, o computador procura o perfil. Isto serve para que sejam ignorados perfis errados e utilizadas só as repetições.

CPRM

A segunda finalidade é retirar o valor da variação magnética diária, M_d, dos valores medidos, M_m, fazendo:

$$M_k = M_m - M_d$$

Este é o primeiro tratamento matemático a que se submetem os dados magnetométricos.

Terminada uma área, é calculada sua variação diurna média, $\overline{M}_d$, e feita a correção inversa:

$$M_a = M_k + \overline{M}_d$$

2.5. VARI

O programa VARI ajusta a magnetometria, a partir dos cruzamentos entre os perfis de produção e de controle.

As coordenadas desses vértices são, em geral, determinadas pelo exame dos filmes e fornecidas ao computador por meio de cartões. Quando isto não tenha sido feito, o programa calcula essas coordenadas, feito o que é atribuído em peso a cada cruzamento, segundo a fórmula:

$$G_{M,K} = 1 + n'_{M,K} + \varepsilon_{M,K}$$

onde: $n'_{M,K}$ =0,25 ou 0, conforme as coordenadas tenham sido determinadas nos filmes ou calculadas.

$$\varepsilon_{M,K} = \{0,0005\,[t_{M+2}-t_{M-2}+2(t_{M+1}-t_{M-1})+t_{K+2}-t_{K-2}+2(t_{K+1}-t_{K-1})]\}$$

CPRM

sendo: t_M, t_K as medidas magnéticas dos perfis de produção e controle, respectivamente.

A diferença entre as medidas dos perfis é dada por:

$$W_{M,K} = t_M - t_K$$

e o erro ponderado é agora avaliado segundo:

$$E_{M,K} = G_{M,K} \cdot W_{M,K}$$

São calculadas as retas

$E(M) = a + bS_M$ (perfis de produção) e

$E(K) = c + dS_K$ (perfis de controle),

cujos parâmetros a, b, c, d são determinados por mínimos quadrados e os S_i são as distâncias dos cruzamentos relativos às origens dos perfis.

As correções a aplicar serão:

$$W'_M = W - (a + bS_M) \quad \text{e}$$

$$W_K = W - (c + dS_K)$$

O cálculo dessas correções é iterado 10 vezes, resultando os parâmetros A, B, C, D, com os quais obtem os valores semi-finais T_M e T_K:

$$T_M = t_M - (A + BS_M)$$

$$T_K = t_K - (C + DS_K)$$

O erro residual W é distribuído nas vizinhanças do cruzamento, segundo a curva de Gauss, de maneira que:

$$\frac{\Delta W_M}{2} = -\frac{\Delta W_K}{2}$$

A listagem do VARI é apresentada na prancha 10.

2.6. REGI

Dos valores magnéticos ajustados deve agora ser retirado o campo regional, dado pela fórmula:

$$T_0 = a_{00}+a_{10}\,\Delta x+a_{01}\,\Delta y+a_{20}(\Delta x)^2+a_{11}\,\Delta x\,\Delta y+a_{02}(\Delta y)^2$$ em que

$$\Delta x = x - x_0$$

$$\Delta y = y - y_0$$

Os coeficientes a_{ij} da equação são apurados a partir de x_0, y_0, x_i, y_i e H_i (altitude), também por mínimos quadrados.

A PRAKLA calculou o campo geomagnético para o ano 1971,5, a uma altitude de 1.200 m, média para Minas Gerais, referência segundo a qual são calculados os regionais para cada área e época.

O fluxograma e mapas ilustrativos são mostrados nas pranchas 11 e 12.

2.7. LLP 1G/LMRB (cartografia)

Estes dois programas não constituem propriamente proces

samento de dados. Eles meramente substituem o trabalho manual de cartografia e são executados no centro de processamento, daí sua inclusão neste capítulo.

Por meio desses programas, os dados magnéticos são automaticamente cartografados, no caso, em escala 1:100.000 .

Os fluxogramas e gráficos correspondentes constam nas pranchas 13, 14 e 15, 16.

3. INTERPRETAÇÃO

Dado o uso crescente da aeromagnetometria e o desenvolvimento de instrumentos de alta precisão (1/10 a 1/100 γ), quando se mede exclusivamente o valor total, T, do campo geomagnético, a interpretação das anomalias ΔT se torna cada dia mais importante e difundida. Não obstante algumas experiências mais recentes com magnetômetros a vapor de Rb ou Ce aerotransportados /1/, o emprego desses instrumentos é ainda restrito aos levantamentos em terra. Uma vez que o desvio altimétrico médio das aeronaves é 10 m, o que corresponde a uma variação vertical média de 0,3 γ no campo geomagnético, a precisão das medidas fica limitada pela instabilidade vertical dos aviões.

A interpretação dos mapas de isoanomalias magnéticas, para pesquisa mineral, se faz segundo processo indireto. As anomalias de contornos suaves são isoladas - fase qualitativa - e comparadas com os efeitos de modelos geométricos simples e magneticamente homogêneos - fase quantitativa. As diferenças são minimizadas por meio de ajustamentos nos parâmetros dos modelos, ou seja; tentativa e erro, nome pelo qual é conhecido o método. A depender da forma das anomalias utilizam-se modelos bidimensionais; placa delgada, placa espessa e cilindro horizontal ou tridimensionais;esferas e dipolos.

No estágio preliminar de interpretação quantitativa trabalha-se exclusivamente com modelos bidimensionais, cujo efeito é calculado no próximo sub-capítulo.

3.1. Cálculo do efeito de modelos bidimensionais /2/

Sendo W o potencial magnético, define-se:

$$\Delta Z = - \frac{\partial W}{\partial z}$$

$$\Delta H = - \left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \right) W$$

$$\Delta T = - \frac{\partial W}{\partial I} = \Delta Z \text{ sen } I + \Delta H \cos I,$$

sendo I a inclinação magnética.

Como x, y e z são escalares, decorre que somente ΔZ e ΔH são potenciais. Não obstante, em áreas de até 200 x 200 km I pode ser considerada constante pelo que, dentro daqueles limites, ΔT se torna também potencial, o que permite projeções de ΔT para cima e para baixo do plano de medida e transformações em ΔZ e/ou ΔH e vice-versa.

Chamando T_0 ao campo magnético regional e T ao campo medido, define-se:

$$\Delta T = T - T_0 = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)} - \sqrt{(x_0^2 + y_0^2 + z_0^2)},$$ a anomalia relativa a T.

$$\Delta T = \sqrt{(x_0 + \Delta x)^2 + (y_0 + \Delta y)^2 + (z_0 + \Delta z)^2} - \sqrt{(x_0^2 + y_0^2 + z_0^2)}$$

onde: $\Delta x = x - x_0$; $\Delta y = y - y_0$ e $\Delta z = z - z_0$

Se, simultaneamente, $x \ll x_0$, $y \ll y_0$ e $z \ll z_0$, pode-se desprezar $(\Delta x)^2$, $(\Delta y)^2$ e $(\Delta z)^2$ no desenvolvimento dos quadrados dos binômios e:

$$T \cong \sqrt{(x_0^2 + y_0^2 + z_0^2)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot \frac{x_0 \Delta x + y_0 \Delta y + z_0 \Delta z}{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}} - \sqrt{(x_0^2 + y_0^2 + z_0^2)}$$

mas:

$$\left(1 + 2 \cdot \frac{x_0 \Delta x + y_0 \Delta y + z_0 \Delta z}{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}\right)^{1/2} = 1 + \frac{x_0 \Delta x + y_0 \Delta y + z_0 \Delta z}{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2} +$$

$$+ 2 \cdot \left(\frac{x_0 \Delta x + y_0 \Delta y + z_0 \Delta z}{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}\right)^2 + \ldots$$

CPRM

Truncando-se o desenvolvimento de Taylor até o termo linear, vem:

$$\Delta T \cong \left(x_0^2+y_0^2+z_0^2 \right)^{1/2} \cdot \left(1+ \frac{x_0\,\Delta x+y_0\,\Delta y+z_0\,\Delta z}{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2} - 1 \right) \cong$$

$$\cong \frac{x_0\,\Delta x + y_0\,\Delta y + z_0\,\Delta z}{\left(x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 \right)^{1/2}}$$

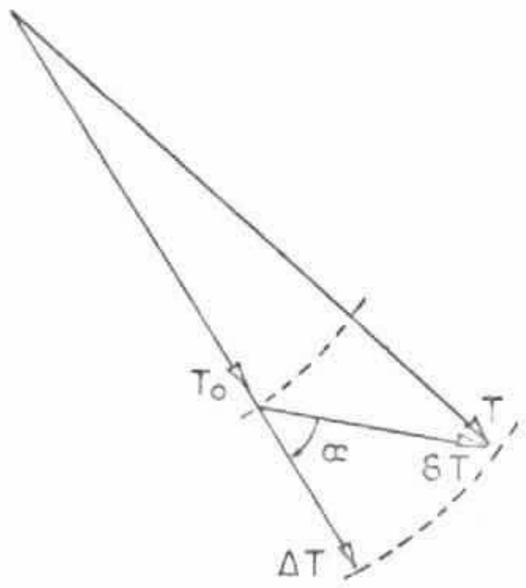
ou ainda:

$$\Delta T \cong \Delta x \frac{x_0}{\sqrt{x_0^2+y_0^2+z_0^2}} + \Delta y \frac{y_0}{\sqrt{x_0^2+y_0^2+z_0^2}} + \Delta z \frac{z_0}{\sqrt{x_0^2+y_0^2+z_0^2}}$$

ou seja: $$T \cong \delta\vec{T} \cdot \frac{\vec{T_0}}{|\vec{T_0}|}$$

onde: $\delta\vec{T} = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ e

$T_0 = (x_0 , y_0, z_0)$



que é a projeção do vetor anomalia $\delta\vec{T}$ na direção do regional $\vec{T_0}$.
Estas simplificações se fazem necessárias, de vez que só se mede

$$\Delta T = |\vec{T}| - |\vec{T_0}|$$

Assumindo $\delta\vec{T} \ll \vec{T_0}$: $\Delta T \cong \delta T \cos\alpha$

Fig. 3

No caso de anomalias bidimensionais (aquelas em que uma das dimensões é desprezível face às outras duas), o vetor $\delta\vec{T}$ jaz num plano normal à direção da anomalia. Este plano é representado por um plano de Gauss.

CPRM

A projeção de $\delta\vec{T}$ na direção de $\vec{T}_0$ se faz em dois passos:

a. projeção de $\delta\vec{T}$ sobre F', onde F' é a projeção de T_0 sobre o plano normal;

b. projeção no plano meridiano de T_0

Tais projeções se fazem em planos ortogonais entre si.

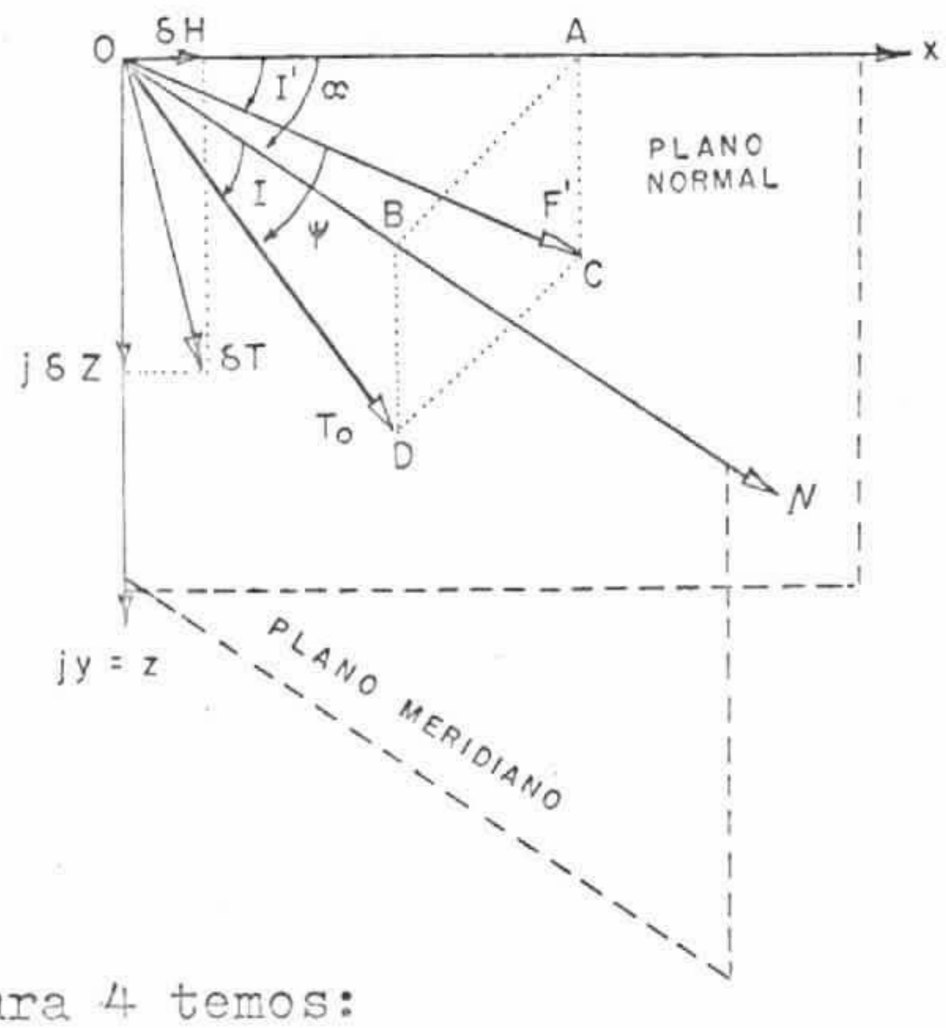


Fig. 4

Na figura 4 temos:

I = inclinação;
I' = inclinação aparente = projeção de I no plano normal;
α = ângulo entre o plano meridiano e o plano normal;

a. $\Delta T^* = Re\,(\delta T e^{-jI'}) = Re\,(\overline{\delta T} e^{jI'})$

b. $\Delta T = \Delta T^* \cos\Psi$

onde $\Psi = T_0\hat{O}F'$, ou seja:

$$\cos\Psi = \frac{\vec{T}_0}{|\vec{T}_0|} \cdot \frac{\vec{F}'}{|\vec{F}'|}$$

$$= (\cos I, 0, \operatorname{sen} I).(\cos I' \cos\alpha, \cos I' \operatorname{sen}\alpha, \operatorname{sen} I')$$

$$\cos\Psi = \cos I \cos I' \cos\alpha + \operatorname{sen} I \operatorname{sen} I' \qquad (1)$$

CPRM

Notando que: $\operatorname{tg} I' = \dfrac{\overline{AC}}{\overline{OA}} = \dfrac{\overline{BD}}{\overline{OA}}$

$$\operatorname{tg} I = \frac{\overline{BD}}{\overline{OB}}$$

$$\cos\alpha = \frac{\overline{OA}}{\overline{OB}} = \frac{\operatorname{tg} I}{\operatorname{tg} I'} \qquad (2)$$

Aplicando (2) em (1), vem:

$$\cos\Psi = \frac{\operatorname{sen} I}{\operatorname{sen} I'} = \sqrt{\cos^2\alpha \cdot \cos^2 I + \operatorname{sen}^2 I} \qquad (3)$$

Para maior facilidade de escrita continuaremos a usar $\cos\Psi$, em vez de explicitá-lo. Então:

$$\Delta T = \operatorname{Re}\,(Te^{jI'})\cos\Psi$$

$$\Delta Z = -I\,(Te^{jI'})\cos\Psi \qquad (4)$$

Seja agora um corpo bidimensional de secção S:

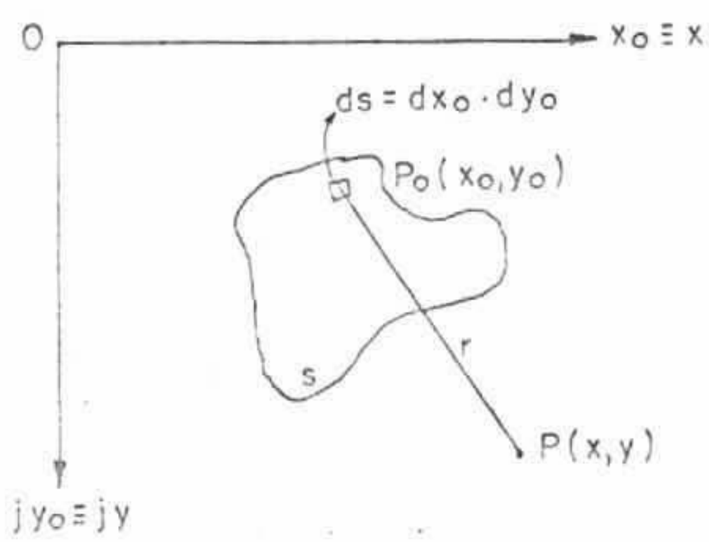


Fig. 5

$$\delta T = \delta H - j\delta Z = 2J\cos\Psi\, e^{jI'} \iint_S \frac{ds}{r^2} \qquad (5)$$

$J\cos\Psi$ é a projeção de J no plano normal, lembrando que $\vec{J} = \vec{J}_I + \vec{J}_R$, onde $\vec{J}_I$ é a magnetização induzida, antiparalela a $\vec{T}_O$ e $\vec{J}_R$ a magnetização remanescente, de direção qualquer.

3.1.1. Placa delgada

Um corpo é assemelhado a uma placa delgada ∞ quando suas dimensões satisfazem as relações:

$$b \leq t_0$$

$$t_u \gg t_0 \text{ (na prática } t_u \cong 10\ t_0)$$

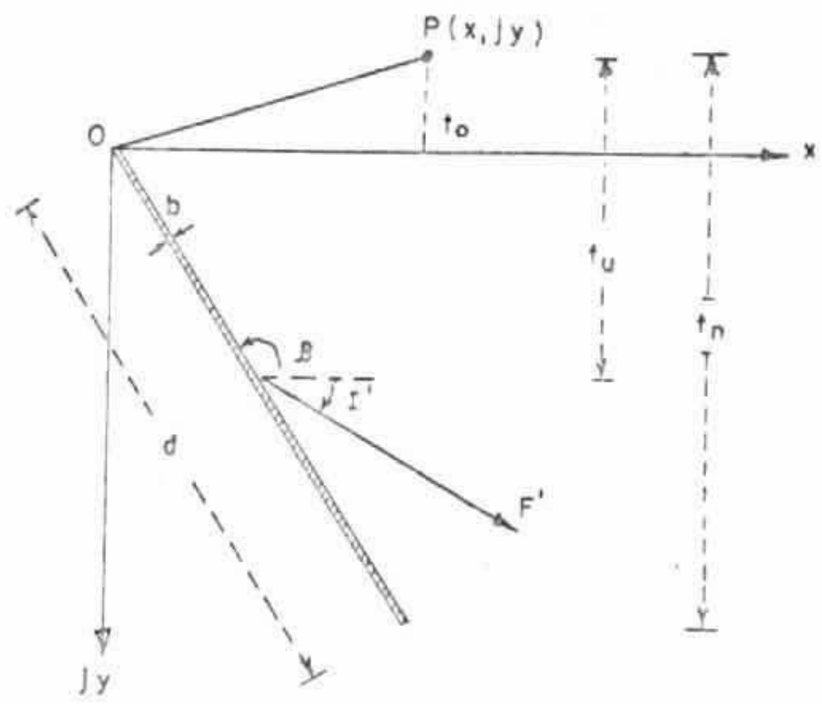


Fig. 6

Nestas condições a integral de (5) se torna:

$\overline{\delta T} = 2Me^{jI'} \cdot \frac{b}{r} \cdot e^{j\beta}$, onde M é a projeção de J no plano normal: $M = J\cos\psi$ e as equações (4) ficam:

$$\Delta T = 2bJ\cos^2\psi \cdot \frac{x\cos(2I' + \beta) + y\,\mathrm{sen}(2I' + \beta)}{x^2 + y^2} \qquad (6)$$

$$\Delta Z = 2bJ\cos\psi \cdot \frac{-x\,\mathrm{sen}(I' + \beta) + y\cos(I' + \beta)}{x^2 + y^2} \qquad (7)$$

Façamos uma das equações acima, por exemplo ΔZ, constante:

$$\frac{\Delta Z}{c}(x^2+y^2) = -x\,\mathrm{sen}\,\varphi + y\cos\varphi \quad ,$$

onde $\varphi = I' + \beta$, $K = \frac{\Delta Z}{2bJ\cos\psi}$

$$Kx^2 + x\,\mathrm{sen}\,\varphi + Ky^2 - y\cos\varphi = 0$$

$$x^2 + x\,\frac{\mathrm{sen}\,\varphi}{K} + y^2 - y\,\frac{\cos\varphi}{K} = 0\ ,$$

completando os quadrados:

$$x^2 + \frac{x\,\mathrm{sen}\,\varphi}{K} + \frac{\mathrm{sen}^2\varphi}{4K^2} + y^2 - \frac{y\cos\varphi}{K} + \frac{\cos^2\varphi}{4K^2} = \frac{\mathrm{sen}^2\varphi}{4K^2} + \frac{\cos^2\varphi}{4K^2}$$

$$\left(x + \frac{\mathrm{sen}\,\varphi}{2K}\right)^2 + \left(y - \frac{\cos\varphi}{2K}\right)^2 = \left(\frac{1}{2K}\right)^2$$

que vem a ser a equação da família de círculos de raio $\frac{bJ\cos\Psi}{\Delta Z}$, que passam pela origem e cujos centros se alinham na reta inclinada de $I'+\beta$ em relação a $\overrightarrow{Ox}$. Este é o conhecido diagrama de Baranov /3/, prancha 17. A prancha 18 mostra a variação de ΔT e ΔZ com β, considerando-se $I'=-20^\circ$, inclinação média de Minas Gerais.

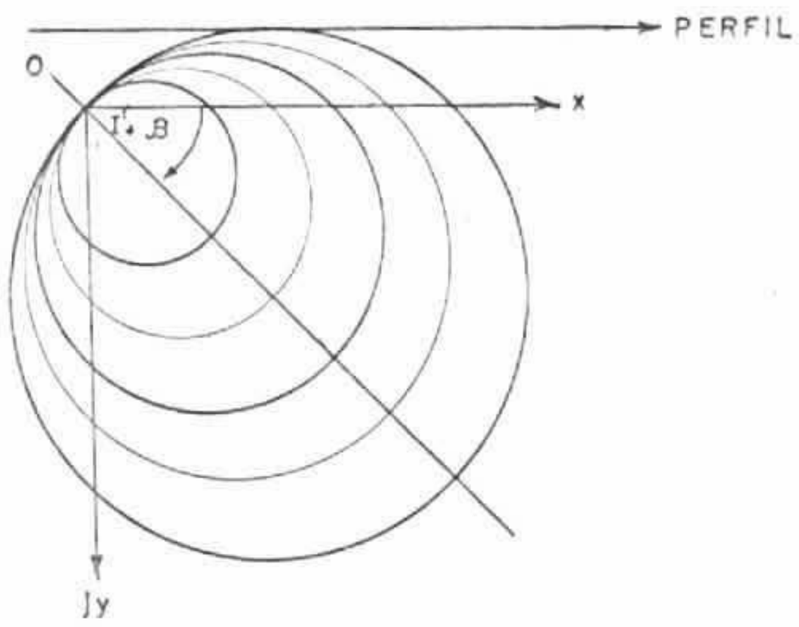


Fig. 7

À mesma conclusão se chegará para ΔT, somente que o raio será $\frac{bJ\cos^2\Psi}{\Delta T}$ e a inclinação $\varphi = 2I' + \beta$.

Comparando-se (6) e (7) vê-se que:

$$\Delta T\,(I') = \cos\Psi\ \Delta Z\,(I'+\Omega)$$

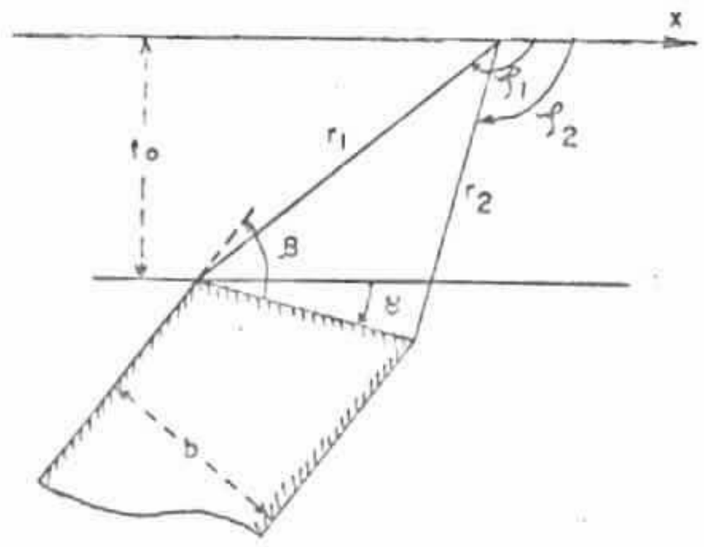
onde: Ω é a defasagem entre ΔT e ΔZ, que passaremos a calcular:

$$\begin{cases} -\,\mathrm{sen}\,(I'+\beta+\Omega) = \cos\,(2I'+\beta) \\ \cos\,(I'+\beta+\Omega) = \mathrm{sen}\,(2I'+\beta) \end{cases}$$

onde ambas equações fornecem $(I' + \Omega) = \left(\frac{\pi}{2} - 2I'\right)$, ou seja

$$\Omega = I' - \frac{\pi}{2}, \text{ donde: } \Delta T\,(I') = \cos\Psi\ \Delta Z\,(2I' - \frac{\pi}{2}) \qquad (8)$$

3.1.2. Placa espessa



O corpo será assemelhado a uma placa espessa se $b > t_0$ e $t_u \gg t_0$, quando a solução da integral em (5) dá:

$$\Delta T = -2J\cos\Psi\,\mathrm{sen}\beta\, e^{j(I'+\beta-2\gamma)} \cdot \ln \frac{r_2 e^{j\varphi_2}}{r_1 e^{j\varphi_1}}$$

Fig. 8

$$\Delta T = -2J\cos^2\varphi\ \mathrm{sen}\beta \left[\cos(\beta+2I'-2\gamma)\ln\frac{r_2}{r_1} - \mathrm{sen}(\beta+2I'-2\gamma)(\varphi_2-\varphi_1)\right] \qquad (9)$$

$$\Delta Z = -2J\cos\Psi\,\mathrm{sen}\beta \left[\mathrm{sen}(\beta+I'-2\gamma)\ln\frac{r_2}{r_1} + \cos(\beta+I'-2\gamma)(\varphi_2-\varphi_1)\right] \qquad (10)$$

Note-se que aqui β é o ângulo entre as paredes da placa.

É imediato que a relação (8) também vale para a placa espessa, cuja utilização permite calcular ΔT com ábacos, ilustrados nas pranchas 20 a 23.

Utilizando-se o ábaco nº 2 constrói-se os seguintes cujas relações p_1/p_2 ($\cos\theta/\mathrm{sen}\theta$) variam de 1:10 até 10:1. Posto que os gráficos foram construídos com o Norte para a esquerda e só para o 3º quadrante, algumas correções devem ser introduzidas conforme a prancha 24. O problema das escalas é resolvido por meio de reduções ou ampliações fotográficas.

CPRM

A prancha 25 ilustra a variação de ΔT e ΔZ com δ.

Fazendo ΔZ constante, tem-se:

$$K = \text{sen}\,\theta \ln \frac{r_2}{r_1} + \cos\theta\,(\varphi_2 - \varphi_1)$$

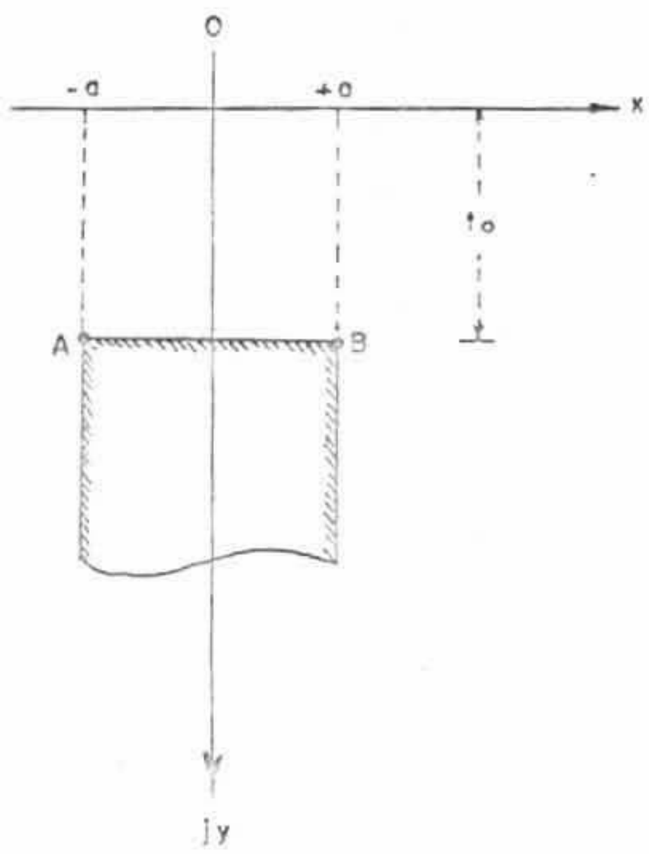
onde: $\theta = \beta + I' - 2\delta$

$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$

$$K = \frac{\Delta Z}{2J\cos\gamma\,\text{sen}\beta}$$

Para $\theta = n\pi$ $(n=0,1,2,3,\ldots)$, $\varphi_2 - \varphi_1 = K$; equação das famílias de círculos cujos centros se alinham ao eixo $\overrightarrow{Ojy}$ e têm como corda 2a, espessura da placa.

Para $\theta = \frac{\pi}{2} + 2n\pi$,$(n=0,1,2,\ldots)$



$$\ln \frac{r_2}{r_1} = K, \text{ ou:}$$

$$\frac{(x-a)^2 + y^2}{(x+a)^2 + y^2} = e^{2K} = C$$

que são as famílias de círculos centradas em $(x+a, t_0)$ e $(x-a, t_0)$ e raio $= e^K$

Fig. 9

3.1.3. Cilindro horizontal infinito

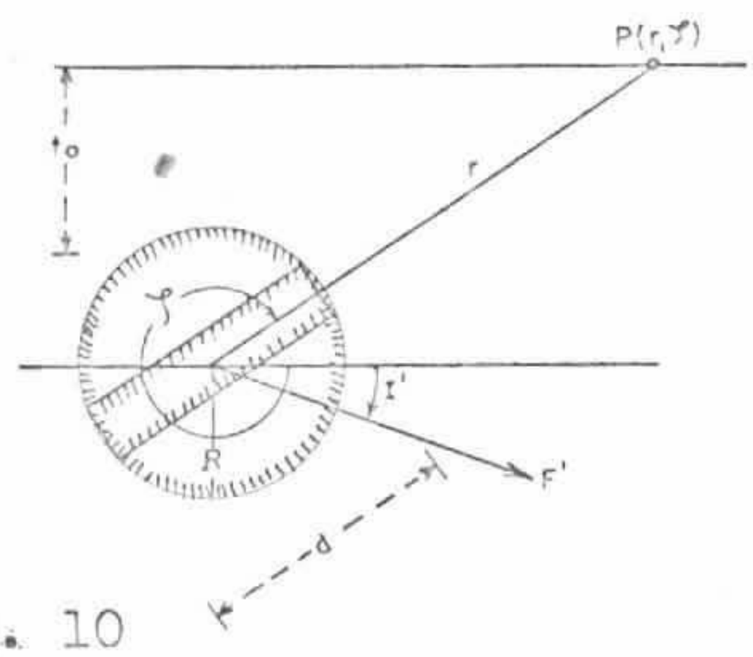


Fig. 10

O efeito do corpo será comparado ao de um cilindro quando $d \leq t_0$ (na prática $t_0 \approx 10$ d). Para o cilindro a integral de (5) torna-se:

$$\overline{\delta T} = 2J\cos\Psi \; \frac{\pi R^2}{r^2} \; e^{j(I' - 2\varphi)}$$

$$\Delta T = 2J\cos^2\Psi . \pi R^2 . \frac{\operatorname{sen}(2\varphi - 2I' + \pi/2)}{r^2} \qquad (11)$$

$$\Delta Z = 2J\cos\Psi . \pi R^2 . \frac{\operatorname{sen}(2\varphi - I')}{r^2} \qquad (12)$$

As equações (11) e (12) são do tipo:

$$F = K . \frac{\operatorname{sen} 2\varphi}{r^2}$$

que dá o trevo de 4 folhas, cujos eixos de simetria são bissetores dos eixos das folhas. (Ver prancha 26.)

Fazendo-se $\frac{\Delta Z}{K} = 0$, resulta $\varphi = \frac{I'}{2}$ e

$\frac{\Delta T}{K} = 0$, resulta $\varphi = I' - \frac{\pi}{4}$.

A prancha 27 elustra ΔT e ΔZ referentes ao cilindro horizontal.

3.2. Interpretação qualitativa

De posse dos mapas de anomalias e dos gráficos dos efeitos dos modelos, a interpretação qualitativa consiste em:

Destacar as anomalias, bi ou tridimensionais, separando por meio de cores os máximos (vermelho) e mínimos (azul) relativos, prancha 28.

Sobre um vegetal, delinear os alinhamentos e falhas mag

neticamente reconhecíveis e áreas de anomalias com mesma ordem de grandeza (valor pico a pico) - prancha 29.

Traçar perfis ortogonalmente às anomalias bidimensionais (alongadas). Estes perfis devem evitar os pontos extremos das anomalias, valores estes de expressão local e não representativos - pranchas 28 e 29.

Conforme o regional da anomalia e o efeito esperado a partir do valor médio de J para a área, traças nova linha zero - pranchas 30 e 31. Ortogonalmente a antiga linha zero, e relativos à nova, são lidos os novos valores e redesenhadas as anomalias - pranchas 32 a 35.

Essas anomalias são comparadas visualmente com os gráficos dos efeitos dos modelos, determinando-se assim a qual modelo a anomalia será assemelhada.

O fator que determina a escolha do modelo é a altura do perfil relativa ao topo do corpo, t_0. Em trabalhos de reconhecimento, quando não se puder estimar a profundidade do topo do corpo relativa à superfície do solo, considera-se t_0 igual à própria altura de vôo. À medida que t_0 aumenta, passa-se da placa espessa para a delgada e desta para o cilindro. As fórmulas dos efeitos desses corpos mostram que o número de informações obtidas é maior na placa espessa e menor no cilindro. Consequentemente, quanto mais baixo se voar, mais informações se tem.

Em contrapartida, t_0 influi também no espaçamento dos perfis. Para que uma anomalia seja fielmente registrada, deve ser satisfeita a relação:

$$t_0 \leq \frac{D}{2} \quad \text{(fig. 11)}$$

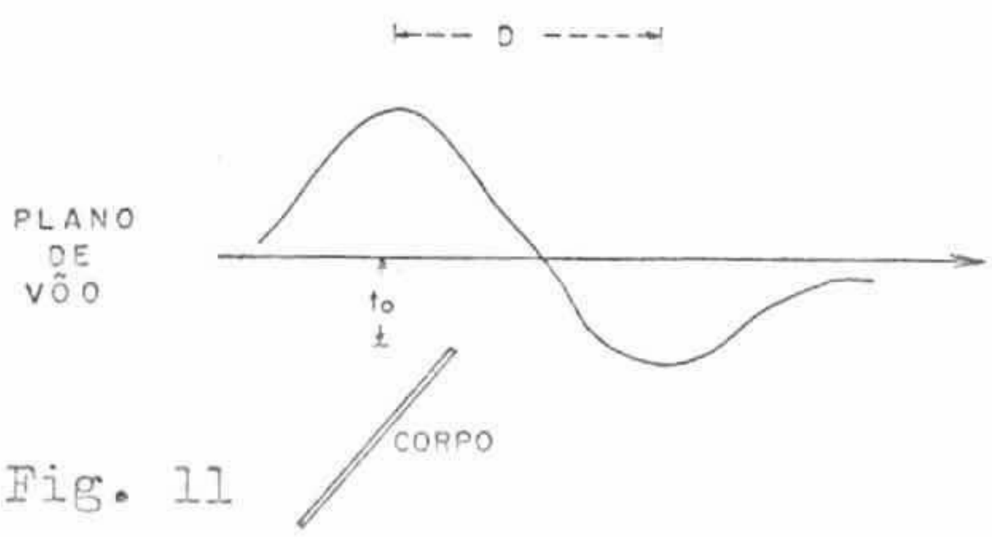


Fig. 11

onde D é a distância entre os extremos da anomalia.

Evidentemente, quanto menor - fôr t_0, menor deverá ser o es

paçamento, e, entre os perfis, o que eleva o custo operacional. Como termo de compromisso, toma-se:

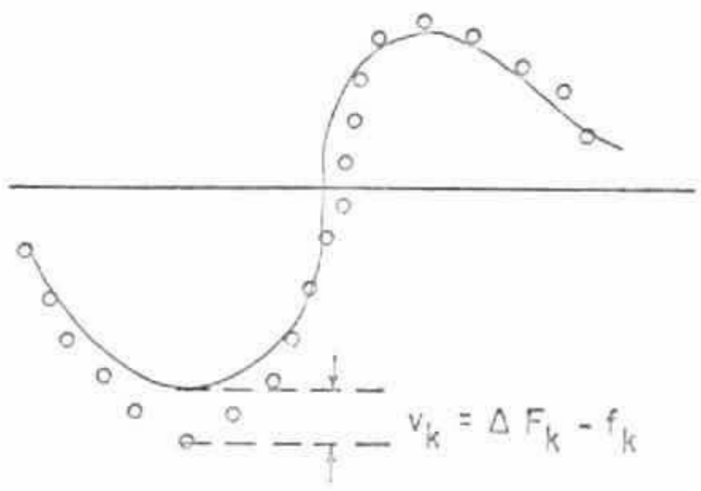
$$e \leq 5\ t_0$$

3.3. Interpretação quantitativa

As anomalias isoladas segundo 3.2. são digitalizadas, requerendo-se cerca de 20 amostras por anomalia. Estas amostras são transcritas em cartão perfurado, como se verá adiante.

3.3.1. Método dos mínimos quadrados /4/

Sejam ΔF_i a função medida e $f_1\ (x_1 \ldots x_n)$ a função teórica (modelo), onde os x_i são as incógnitas (3 para o cilindro, 4 para o dique delgado, e 5 para o dique espesso). Para cada ponto vale a relação:



$$f_k\ (x_i) - \Delta F_k = v_k \qquad (13)$$

onde v_k é o desvio.

Para a aplicação do método de Gauss (mínimos quadrados), impõe-se que f_k seja linear, pelo que se toma a parte linear do desenvolvimento de Taylor dessa função. Para ilustração, consideraremos 3 incógnitas, caso do cilindro.

Fig. 12

$$f_k(x_1,x_2,x_3) \cong f_k(x_{10},x_{20},x_{30}) + \left(\frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + \right.$$

$$\left. + \frac{\partial f}{\partial x_2} dx_2 + \frac{\partial f}{\partial x_3} dx_3\right)$$

onde os x_i são aproximações obtidas de diagramas ou cal

culados a partir de modelos.

A equação (13) se torna:

$$\underbrace{f_k(x_{10},x_{20},x_{30}) - \Delta F_k}_{-d} + \underbrace{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)}_{a}\underbrace{dx_1}_{x} + \underbrace{\left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)}_{b}\underbrace{dx_2}_{y} + \underbrace{\left(\frac{\partial f}{\partial x_3}\right)}_{c}\underbrace{dx_3}_{z} = v_k$$

Para que Σv_k^2 seja mínimo devem ser satisfeitas - as relações:

$$\frac{\partial \Sigma v_k^2}{\partial x} = 2\Sigma(ax + by + cz - d)\,a = 0$$

$$\frac{\partial \Sigma v_k^2}{\partial y} = 2\Sigma(ax + by + cz - d)\,b = 0$$

$$\frac{\partial \Sigma v_k^2}{\partial z} = 2\Sigma(ax + by + cz - d)\,c = 0$$

que geram as equações normais:

$$\begin{aligned} (aa)\,x + (ab)\,y + (ac)\,z &= (ad) \\ (ab)\,x + (bb)\,y + (bc)\,z &= (bd) \\ (ac)\,x + (bc)\,y + (cc)\,z &= (cd) \end{aligned} \qquad (14)$$

A solução do sistema (14) fornece:

$x(=dx_1)$, $y(=dx_2)$ e $z(=dx_3)$, correções tais que:

$$x_i = x_{i0} + dx_i \ .$$

O processo é reiterado, até que as correções cheguem à mesma ordem de grandeza dos erros de observação ou interpretação.

Aplicação da teoria dos erros ao sistema de equações normais

O desvio padrão de x, y, z, no sistema (14) deve ser calculado pela lei de propagação dos erros, a partir dos desvios padrão das quantidades observadas, contidas nas expressões (ad), (bd) e (cd).

Transformemos (14), expressando x, y, z, como funções de (ad), (bd) e (cd):

$$\begin{aligned} x &= \theta_{xx}(ad) + \theta_{xy}(bd) + \theta_{xz}(cd) \\ y &= \theta_{yx}(ad) + \theta_{yy}(bd) + \theta_{yz}(cd) \\ z &= \theta_{zx}(ad) + \theta_{zy}(bd) + \theta_{zz}(cd) \end{aligned} \qquad (15)$$

Os θ_{ik} de (15) são calculados segundo:

Multiplica-se a 1ª fila de (14) por θ_{xx}, a 2ª por θ_{xy} e a 3ª por θ_{xz}, somando as colunas obtidas:

$$\begin{aligned} \theta_{xx}(aa)x + \theta_{xx}(ab)y + \theta_{xx}(ac)z &= \theta_{xx}(ad) \\ \theta_{xy}(ab)x + \theta_{xy}(bb)y + \theta_{xy}(ac)z &= \theta_{xy}(bd) \\ \theta_{xz}(ac)x + \theta_{xz}(bc)y + \theta_{xz}(cc)z &= \theta_{xz}(cd) \end{aligned} \qquad (16)$$

$(\theta_{xx}[aa] + \theta_{xy}[ab] + \theta_{xz}[ac])x +$

$+ (\theta_{xx}[ab] + \theta_{xy}[bb] + \theta_{xz}[bc])y +$

$+ (\theta_{xx}[ac] + \theta_{xy}[bc] + \theta_{xz}[cc])z = x$ (conforme primeira linha de (15), do que resulta imediato:

$$[aa]\ \theta_{xx} + [ab]\ \theta_{xy} + [ac]\ \theta_{xz} = 1$$

$$[ab]\ \theta_{xx} + [bb]\ \theta_{xy} + [bc]\ \theta_{xz} = 0 \qquad (17)$$

$$[ac]\ \theta_{xx} + [bc]\ \theta_{xy} + [cc]\ \theta_{xz} = 0$$

A solução do sistema (17) fornece: θ_{xx}, θ_{xy} e θ_{xz}.

Da mesma forma, multiplicando-se a 1ª fila de (14) por θ_{xy}, a 2ª por θ_{yy} e a 3ª por θ_{yz} e resolvendo o sistema chega-se a θ_{yx}, θ_{yy} e θ_{yz}: Finalmente, multiplicando-se a 1ª fila de (14) por θ_{zx}, a 2ª por θ_{zy} e a 3ª por θ_{zz}, obtem-se θ_{zx}, θ_{zy} e θ_{zz}.

A seguir separa-se os d_i nas expressões de $|ad|$, $|bd|$ e $|cd|$, que são linearmente dependentes em relação às quantidades observadas ΔF_i.

De (15) segue-se:

$$x = (a_1\theta_{xx} + b_1\theta_{xy} + c_1\theta_x)d_1 +$$

$$+ (a_2\theta_{xx} + b_2\theta_{xy} + c_2\theta_{xz})d_2 + \ldots$$

$$y = (a_1\theta_{yx} + b_1\theta_{yy} + c_1\theta_{yz})d_1 +$$

$$+ (a_2\theta_{yx} + b_2\theta_{yy} + c_2\theta_{yz})d_2 + \ldots \qquad (18)$$

CPRM

$$z = (a_1\theta_{zx} + b_1\theta_{zy} + c_1\theta_{zz})d_1 +$$

$$+ (a_2\theta_{zx} + b_2\theta_{zy} + c_2\theta_{zz})d_2 + \dots$$

ou, simplificando a notação:

$$x = \alpha_1 d_1 + \alpha_2 d_2 + \dots = [\alpha d]$$

$$y = \beta_1 d_1 + \beta_2 d_2 + \dots = [\beta d] \qquad (19)$$

$$z = \gamma_1 d_1 + \gamma_2 d_2 + \dots = [\gamma d]$$

No sistema (19) x, y, z são funções de $d_i\ \Delta F_i$, ou seja, das quantidades observadas, pelo que se pode agora aplicar a lei da propagação dos erros. Admitindo que as observações tenham o mesmo peso e mesmo desvio padrão, m, os desvios padrão correspondentes a x, y, z, seguem-se de (19):

$$m_x^2 = \alpha_1^2 m^2 + \alpha_2^2 m^2 + \dots = (\alpha\ \alpha)m^2$$

$$m_y^2 = \beta_1^2 m^2 + \beta_2^2 m^2 + \dots = (\beta\ \beta)m^2 \qquad (20)$$

$$m_z^2 = \gamma_1^2 m^2 + \gamma_2^2 m^2 + \dots = (\gamma\ \gamma)m^2$$

Para calcular $(\alpha\ \alpha)$ procede-se:
de (17) e (19):

$$\alpha_i = a_i\theta_{xx} + b_i\theta_{xy} + c_i\theta_{xz} \qquad (21)$$

multiplicando (17) por α_i e somando:

$$(\alpha\ \alpha) = (a\ \alpha)\theta_{xx} + (b\ \alpha)\theta_{xy} + (c\ \alpha)\theta_{xz} \qquad (22)$$

multiplicando (21) por a_i e somando:

$$(a\ \alpha) = (aa)\theta_{xx} + (ab)\theta_{xy} + (ac)\theta_{xz} \qquad (23)$$

de acordo com a 1ª linha de (17):

$$(a\alpha) = 1$$

$$(b\alpha) = 0 \qquad (24)$$

$$(c\alpha) = 0$$

de (23) segue-se:

$$(\alpha\alpha) = \theta_{xx} \qquad (25)$$

e daí:

$$(\beta\beta) = \theta_{yy}$$

$$(\gamma\gamma) = \theta_{zz} \qquad (26)$$

Aplicando (25) e (26) em (20):

$$m_x = m(\theta_{xx})^{1/2}$$

$$m_y = m(\theta_{yy})^{1/2} \qquad (27)$$

$$m_z = m(\theta_{zz})^{1/2}$$

onde m é calculado segundo a expressão:

$$m = \left(\frac{(vv)}{n - u}\right)^{1/2}$$

onde: n = nº de observações e u = nº de incógnitas.

3.3.2. Utilização do programa

A utilização do programa do B.f.B. obedece algumas

restrições, segundo os casos:

3.3.2.1. Anomalias conjugadas

Dado o porte do computador disponível (IBM - 1410) não se processam mais que 4 anomalias conjugadas.

A fim de minimizar o tempo de processamento, são combinados somente modelos do mesmo tipo, por exemplo: 4 cilindros, 4 placas delgadas ou 4 placas espessas.

A propósito, vale mencionar o problema da condução do vôo, intimamente ligado à resolução de anomalias conjugadas.

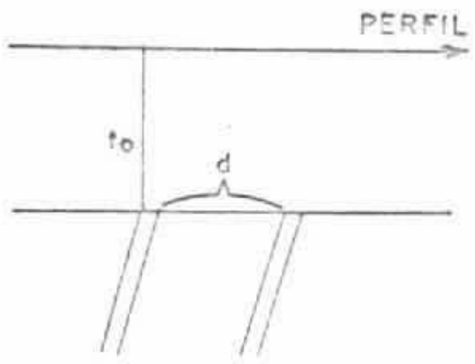


Fig. 13

Para que anomalias individuais sejam destacáveis, deve-se ter:
$d \cong 2\ t_0$ (fig. 13)
Se: $d \simeq t_0$, as anomalias se confundem representando um corpo único.

Quando a topografia o permite, o vôo pode ser conduzido paralelo ao solo (altura constante) ou ao nível do mar (altitude constante).

O vôo a altura constante mantém fixo o poder de resolução, mas a amarração altimétrica dos pontos de cruzamento de perfis é sujeita a grandes erros, além de ser impraticável sobre topografia acidentada.

Por outro lado, a perfilagem a altitude constante implica em variar o poder de resolução, o que é um incoveniente para mapeamento geológico, mino

CPRM

rado nos estágios de detalhe. Aqui, a amarração altimétrica dos cruzamentos é mais acurada, pelo que esta modalidade tem sido preferida.

3.3.2.2. Placas delgadas e cilindros

Como entrada são informados os seguintes dados:

1º Cartão - identificação, parâmetros
NUM = nº do perfil
N = nº de amostras
ITZO= código seletivo de ΔT (0) ou ΔZ (1)
(formato 3I10)
F = inclinação magnética, em graus
α = ângulo entre o perfil e o norte magnético, em graus $0^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$
(formato 2F5.0)
G = intervalo de amostragem, em m.
DF = quadrado do menor valor pico a pico a processar - fator de suavização da curva
(formato 2E10.3)

2º Cartão - sinal da anomalia
0 = anomalia positiva
1 = anomalia negativa
(formato 9I5)

3º, 4º Cartões - dados
valores amostrados em 8
(formato 8F6.0)

O valor I' é projetado na direção do perfil, resultando $I_{\parallel}$, que aparece no cabeçalho da listagem (anexo 36).

O programa compara, automaticamente, a anomalia dada com modelos de cilindro horizontal, placa infinita e placa finita, fazendo as aproximações possíveis, e determina os desvios para cada modelo. De acordo com os menores desvios é indicado o melhor modelo.

Conforme o modelo são indicados os seguintes dados:

<u>Cilindro</u>: U, T e F.J (= r^2J)

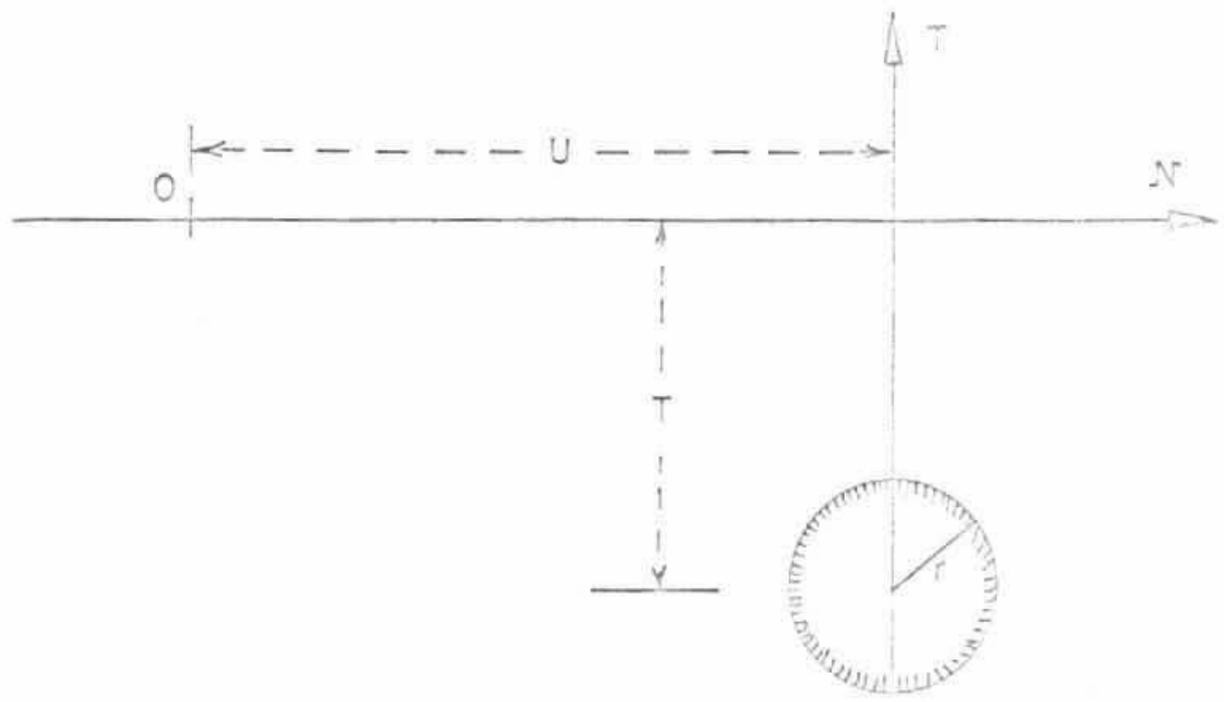


Fig. 14

Valores da curva calculada, na mesma razão de amostragem da anomalia, com os respectivos desvios

Ocasionalmente, o cilindro calculado tem de ser desprezado, por apresentar-se acima do plano do perfil (T > O). Nestes casos opta-se pelo dique delgado finito, de vez que o efeito do cilindro aproxima-se do efeito de um dique delgado finito cuja profundidade da face superior (T) seja maior que o comprimento (L).

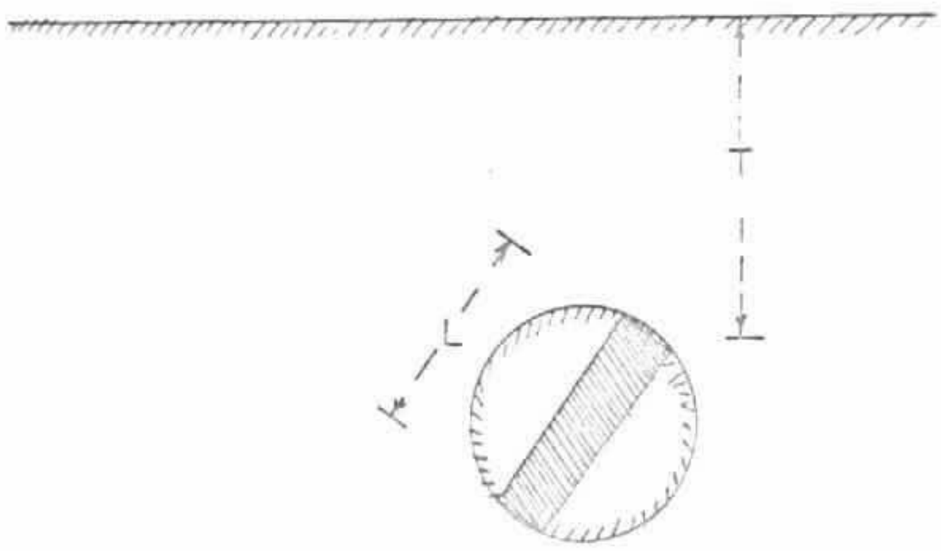


Fig. 15

Placa delgada infinita: U, T, J.b, β valores da curva calculada e erros.

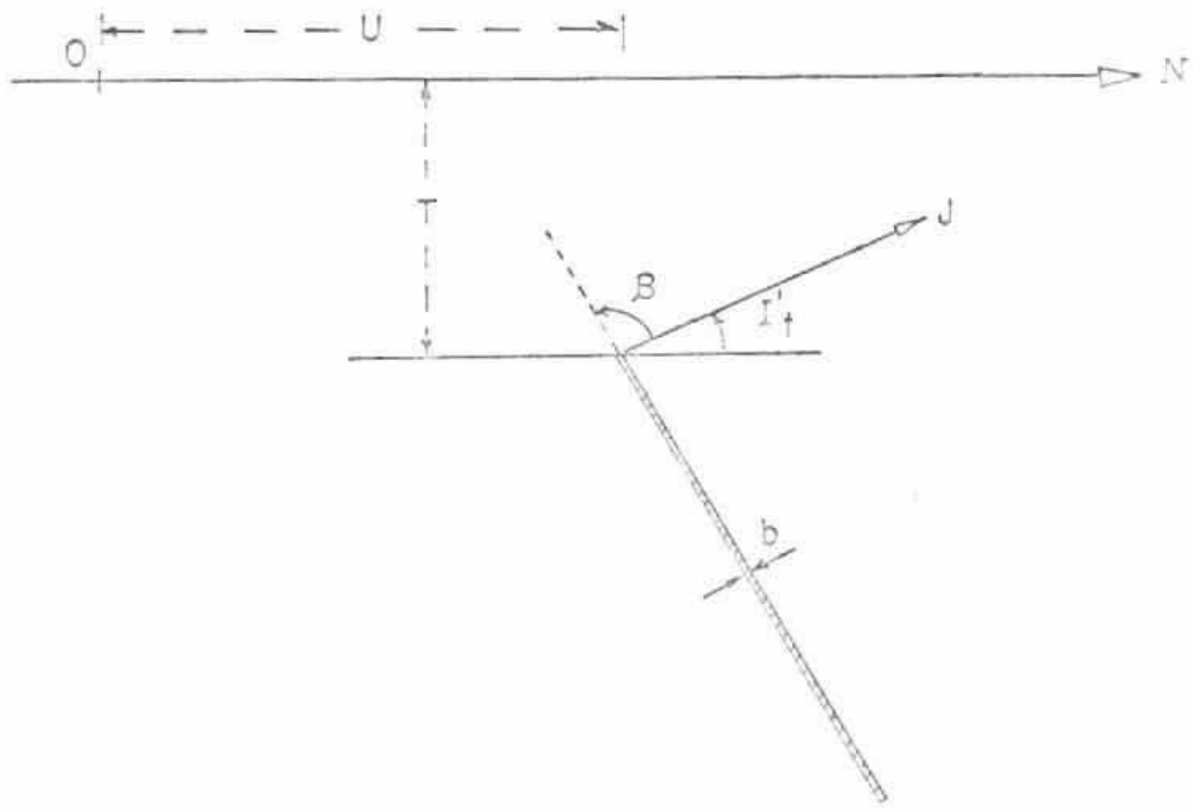


Fig. 16

Placa delgada finita: U_1, U_2 T_1, T_2, J.b, valores da curva calculada e erros.

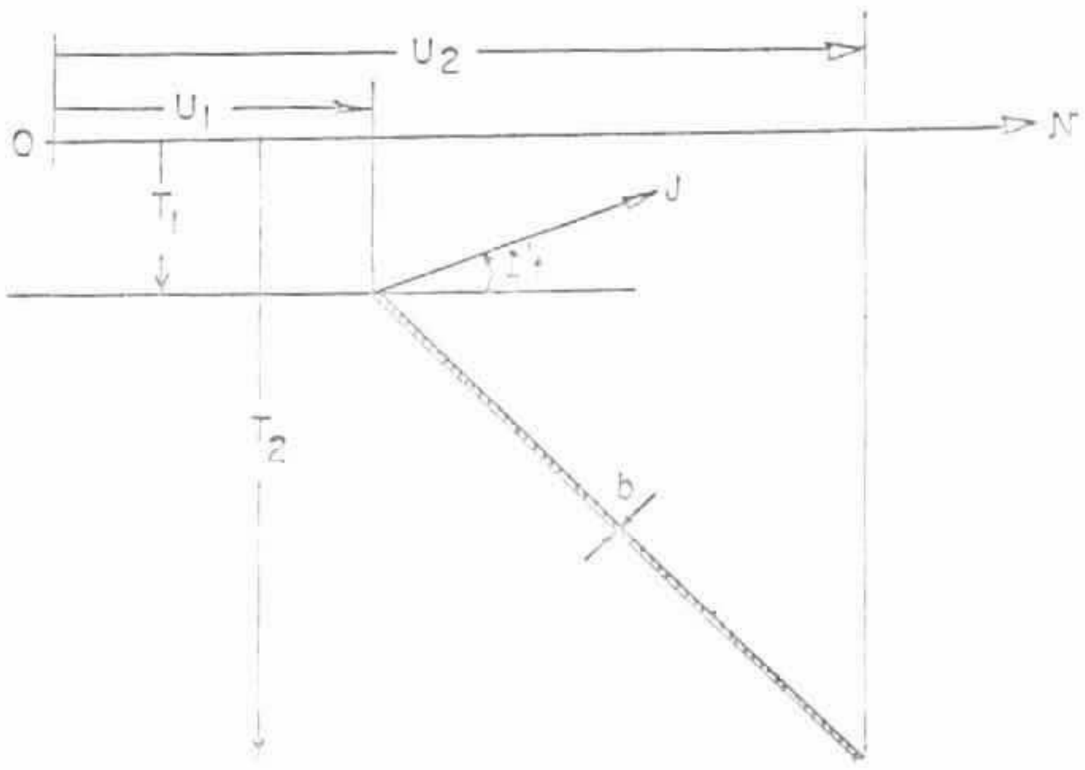


Fig. 17

CPRM

3.3.2.3. Placas espessas

Para este modelo o ajustamento entre as curvas teórica e medida nem sempre converge, pelo que se tornam necessários valores iniciais, a título de primeira aproximação. Tais valores se obtém através a comparação da curva medida com ábacos (pranchas 19 a 23) ou com métodos geométricos expeditos, como o das meias alturas. /5/ /6/ /7/

A curva da fórmula

$$\Delta F = K \left(p_1 \mathcal{Y} + p_2 \ln \frac{r_2}{r_1}\right)$$

é simétrica quando $p_1 = 0$ ou $p_2 = 0$.

Fazendo $p_2 = 0$ resulta:

$$\Delta F \propto \mathcal{Y}$$

curva simétrica em relação a $\overrightarrow{Oy}$.

Sejam: $x_{1/2}$ e $x_{1/4}$ as abcissas relativas a $\Delta F/2$ e $\Delta F/4$.

Com centro em O, raio $\overline{Ox_{1/2}}$ e centro O', raio $\overline{O'x_{1/4}}$ traçam-se os círculos secantes em A e A'.

Observando que:

$$\phi \ (= \mathcal{Y}) = \Delta F/2$$

$$\phi \ (= 2\mathcal{Y}) = \Delta F.$$

$\overline{AA'}$ determina a face superior da placa.

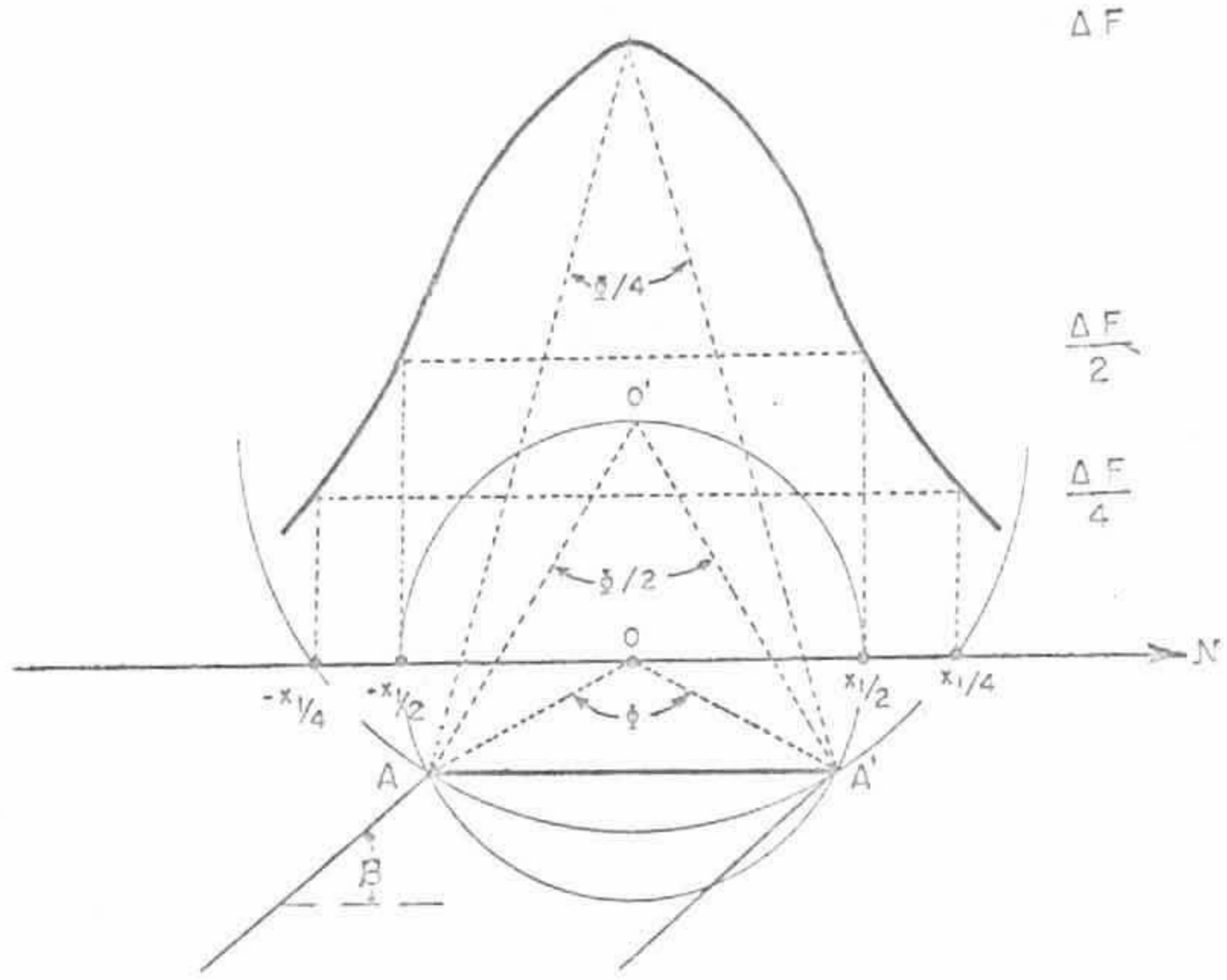


Fig. 18

No caso de ΔT, $\theta_1 = 90^o$, mas $\theta = 2I' + \beta + 2\delta$
Fazendo $\delta = 0$ e $I' = -20^o$, $\beta = 50^o$

Aproximando Υ $\pm$ rumo do perfil vai-se aos ábacos (pranchas 19 a 23) para a obtenção da curva teórica ΔT_t.

Calcula-se J pela relação:

$$J = \frac{\Delta T_m}{\Delta T_t}$$, onde ΔT_m é a curva medida.

Quando a curva medida estiver um pouco distorcida, deve-se simetrizá-la, /8/ em consequência do que a face superior da placa terá um rompimento.

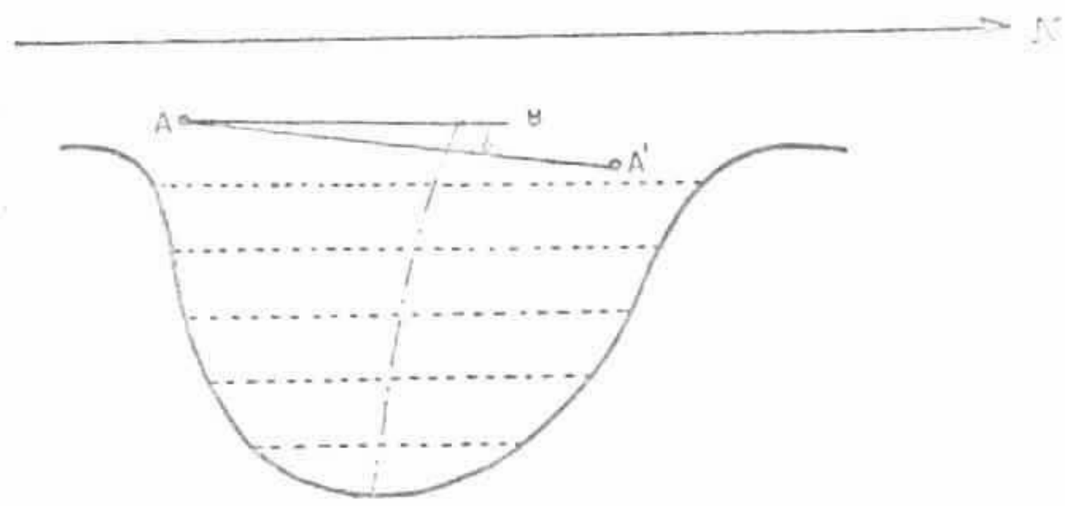


Fig. 19

No caso de $p_1 = 0$, vem:

$\Delta F \propto \ln \frac{r_2}{r_1}$, curva simétrica em relação à origem.

A face superior da placa fica determinada pelo círculo cujo diâmetro é igual à distância horizontal entre os extremos da curva.

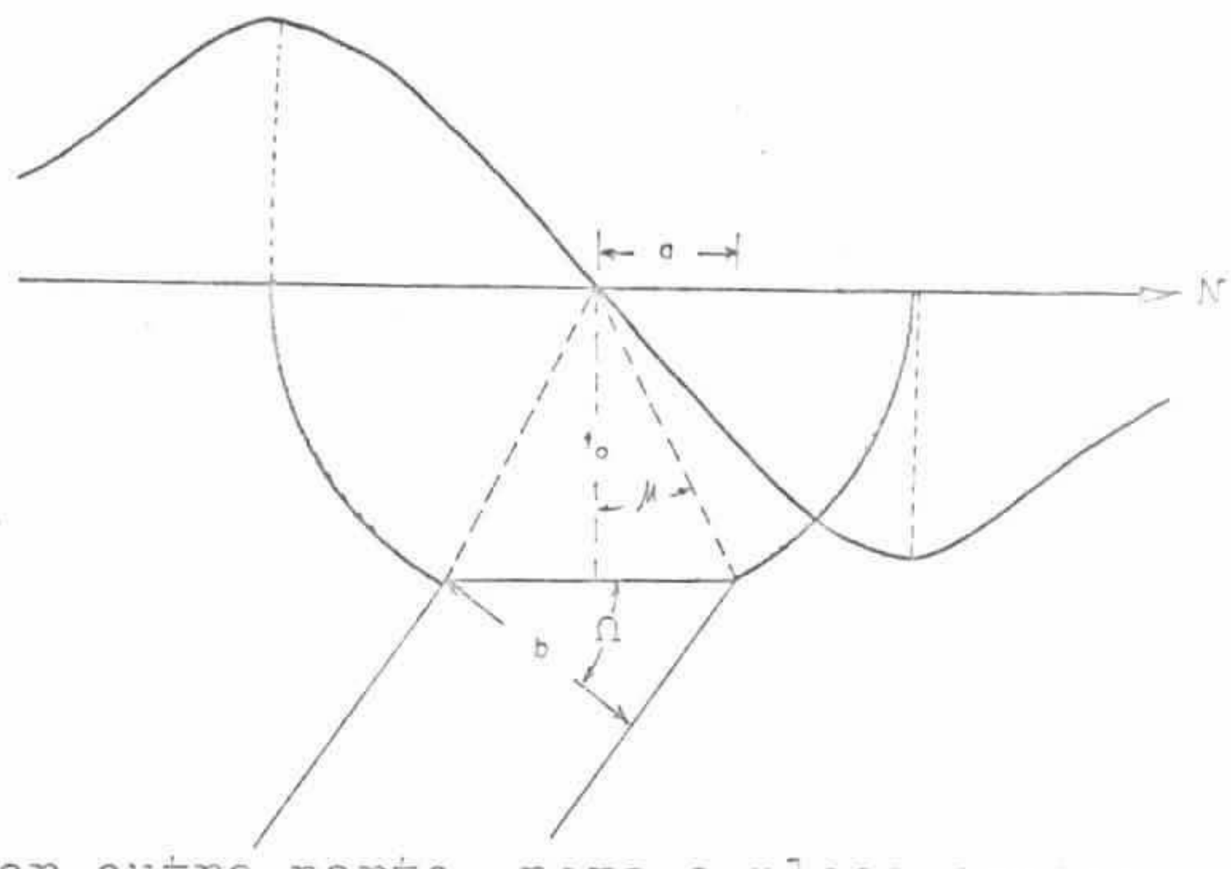


Fig. 20

Por outra parte, para a placa espessa deve ser satisfeita a relação:

$$b > t_0$$

Como $b = 2a \cos \Omega$, segue-se

$$2a > t_0$$

Fazendo $2a = t_0$

$\mu = \text{arcotang} \frac{a}{t_0} = \frac{1}{2} = 26^\circ 30'$ pelo que μ deve ser maior que 27°.

Há métodos de interpretação direta para curvas de tipo logarítmico, /9/, que no entanto necessitam computação eletrônica.

Outros métodos de interpretação direta podem ser aplicados a placas delgadas, que no caso são desnecessários /10/ /11/.

Os parâmetros aproximados obtidos, são transmitidos ao computador por meio de cartões, segundo a ordem:

1º Cartão

NUM = nº do perfil
N = nº de incógnitas
N1 = nº de amostras
ITZO = código seletivo de ΔT ou ΔZ
ITA = nº de iterações (em geral 6)
(formato 5I4)
F = inclinação magnética
α = rumo magnético do perfil
(formato 2F5.0)
G = intervalo de amostragem
(formato E10.3)

2º Cartão

U = abcissa do centro da face superior, considerada horizontal
T = profundidade da face superior
J = intensidade da magnetização
A = meia espessura da face superior
β = mergulho do corpo, em graus
(formato 5E10.3)

3º, 4º Cartões - dados

Na listagem de saída constam U, T, J, A, β, valores da curva calculada e os respectivos erros (prancha 36).

Os dados qualitativos, quais sejam, abcissas, profundidades e mergulhos são transcritos no vosso

tal (prancha 29). A largura dos corpos é aproxima da ao comprimento da anomalia, delineando-se assim um esboço geológico.

3.4. Resultados

Nas pranchas 32 a 35 comparam-se as curvas reais, aferi das à nova linha zero, com as curvas calculadas pelo programa.

As curvas calculadas para as anomalias assemelhadas a placas delgadas (perfis 106 - 01 a 106 - 03) apresentam boa aproximação. O modelo mais adequado, em todos os casos, foi a placa delgada finita - mesmo no perfil 106 - 03 - o qual apresenta duas anomalias conjugadas.

Os parâmetros calculados e seus respectivos erros são resumidos na tabela a seguir:

PERFIL	U_1 m	ÊRROS m	ÊRROS %	U_2 m	ÊRROS m	ÊRROS %	T_1 m	ÊRROS m	ÊRROS %	T_2 m	ÊRROS m	ÊRROS %	J.b 10^4 u	ÊRROS 10^4 u	ÊRROS %
106-01	6000	200	3,3	6500	560	9,3	2500	270	10,8	8300	1600	19,3	40	8	20,0
106-02	8700	130	1,5	4150	360	8,7	2200	90	4,1	9500	1300	13,7	121	6	5,0
(1) 106-03	5200	110	2,1	1850	160	8,7	930	160	17,2	1330	260	19,6	48	7	14,0
(2) 106-03	8900	85	1,0	18000	1140	6,3	1230	70	5,7	9770	1810	18,6	152	9	5,1

Como se vê, os maiores desvios de posicionamento incidem no cálculo da profundidade das extremidades das placas. Outro parâmetro sujeito a maiores erros é J.b, que atingiu 20% no perfil 106 - 01.

Tais resultados podem ser considerados muito bons, concordando bem com os limites de precisão da geofísica (20 a 30%).

CPRM

Das anomalias 106 - 04 e 103 - 05, assemelhadas a placa espessa, a primeira teve divergência no cálculo, o que indica que os parâmetros iniciais não foram suficientemente precisos.

A causa da imprecisão poderá ser atribuída à má coincidência entre a curva real e aquela retirada dos ábacos - ver prancha 34 - talvez ainda porque o valor de J devera ser maior que o empregado (180 γ). Um J maior justificaria o acentuado mínimo da curva real. Todavia, dado o grande número de perfis a interpretar, os perfis cujos cálculos discrepam são deixados para posterior fase dos trabalhos.

Em vista disso, apresentamos o perfil 103 - 05 na prancha 35. Os cálculos convergiram para uma curva de formato similar ao da curva real, não obstante estar defasada.

Os parâmetros calculados e os erros correspondentes são exibidos a seguir:

PERFIL	U m	ÊRROS m	ÊRROS %	T m	ÊRROS m	ÊRROS %	J γ	ÊRROS γ	ÊRROS %	A m	ÊRROS m	ÊRROS %	β rad.	ÊRROS rad	ÊRROS %
103-05	29400	1200	4,1	7130	1380	19,4	99	18	18,2	10800	1500	13,8	2,2	0,09	4,1

Os erros apresentados permitem dizer que aqui também a aproximação é muito boa.

AEV/mcdl.

CPRM

BIBLIOGRAFIA

/1/ Royer,G.,1967 - Two Year's Survey with Cesium Vapour Magnetometer, Geophysical Prospecting, vol XV, nº 2

/2/ Bosum,W.,1966 - Diagrams for the Computation of Magnetic Field Components, for their Transformation into one another and their upward continuation (two dimensional case), Zeitschrift für Geophysik, Heft 1.

/3/ Baranov,V. - Charts for calculation and interpretation of magnetic anomalies, Compagnie Générale de Geophysique - Paris

/4/ Bosum,W.,1971 - An automatic procedure to interprete magnetic anomalies with the least-squares method - Department of the Secretary of State, Translation Bureau, Foreign Lenguages Division - Canada

/5/ Egyed,L.,1948 - Determination of an infinite inclined dyke from the results of Gravity and Magnetic surveys , Geophysics, vol XIII, nº 3

/6/ Jung,K., 1940 - Zur Bestimmung von Störungsmassem aus Anomalien der Schwereintensität, Beiträge zur Angewandten Geophysik, 8

/7/ Jung,K., 1953 - Some remarks on the interpretation of gravitational and magnetic anomalies, Geophysical Prospecting, vol I, nº 1

/8/ Jung,K., 1961 - Schwerkraftverfahren in der Angewandten Geophysik, Akademische Verlagsgesellschaft,Leipzig

/9/ Powell,D.W.,1967 - Fitting observed profiles to a magnetized dyke or fault step model, Geophysical Prospecting, vol XV, nº 2

/10/ Jung,K., 1948 - Direkte Methoden zur Bestimmung plattenförmiger Störungskörper aus ihren erdmagnetischer Anomalien, Geofisica Pura e Applicata, vol II, nº 2

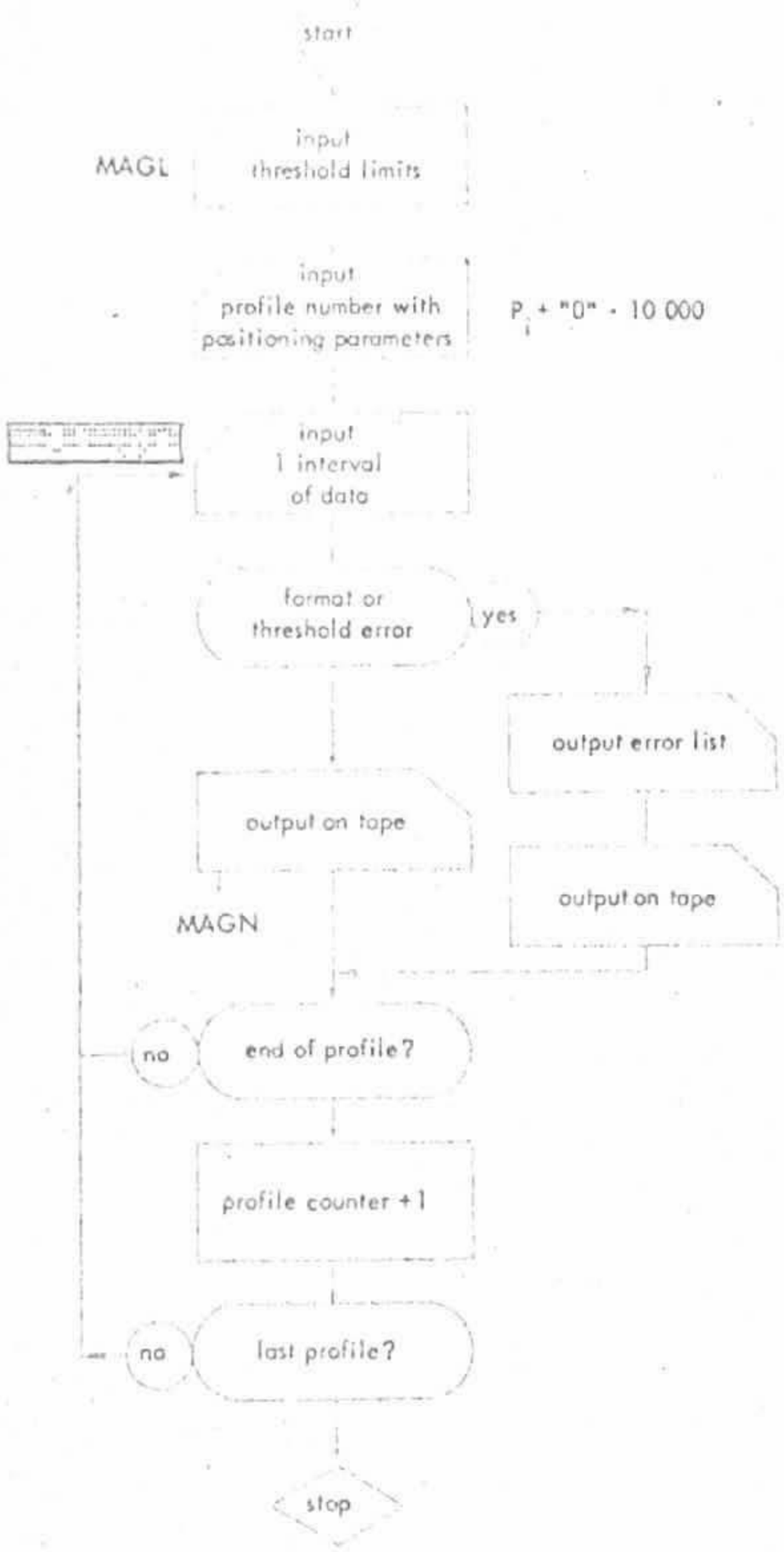
/11/ Henderson,R.G. e Zietz,I.,1948 - Analysis of Magnetic - Intensity Anomalies Produced by Point and Line sources, Geophysics, vol XIII, nº 3

CPRM

Aerogeophysics

Input and Checking of Data

1. program of routine processing



The program MAGL checks the geophysical and positioning data which are automatically recorded aboard the aircraft on 5-channel punched tape in the Elliot-code for format and threshold errors.

The program processes each profile P_i corresponding to the required positioning procedure "0".

Ø: Doppler navigation and positioning
1: Film positioning by visual navigation
2: 2-Rho-ANA positioning by offshore radio navigation

The threshold limits are:

"0"	s_u
procedure Ø	$(u_{i+1}-u_i)=(s_u \cdot 5)$: fiducial interval length on profile in 10^{-2} naut. mi.
procedure 1	$(u_{i+1}-u_i)=s_u$: sequence of fiducials
procedure 2	$(u_{i+1}-u_i)$, $(v_{i+1}-v_i) \leq s_u$: max. value of the 2 distances (u, v: octal)

	s_v
procedure Ø	$(v_{i+1}-v_i) < s_v$: max. cross track deviation v_i from flight line
procedure 1,2	number of values in fiducial interval·s_v

	e_t
procedure Ø, 1,2	$t_{k+1}-t_k \leq e_t$: max. difference between consecutive geophysical data

PRANCHA - 1

CPRM

MAGL (DSY)

CD 3100/3300

Data format of positioning procedure "0":

0 : Doppler

```
.+47800·0501+4780250008+47803+47804+47805...
```

1 : Film

```
+47800-024+47802+47804+47806+47808...
```

2 : ANA

```
+47800.5672+4780263421+47804+47805+47806...
```

Listing of profile processing sequence

```
MOFT    LUXEMBURG                    68146      MESSG     1
        PROGRUP        +546
MAGT      LOCHST
 100     15     20   3020   2998   2976   2954   2932   2910  2933  2734  2712
2690   2668    563    552    541    530    519    508     -2     0     0     0
2888   2866   2844   2822   2800   2778   2756    497    486
```

Sample of error listing

```
PROFIL:    +3020    OR:    0    SU:    +100    SV:    +15    ET:    +20

 0101+4708650010+47086+47086+47087+47087+47087+47088+47088+47088
+47089+47090+47090+47091+47091+47091+49092+47092+47092+47093+47094


.0200+4709650024+47096+47097+47097+47097+47097+47098+47098+47098
+47098+47100+47101+47101+47102+47102+47103+47103+47103+47104+47104

+ S(I) =        +2        ET      SV

.0300+4710550011
```

The corrections of erratic data will be put into the data tape by means of punched cards with program MAGV

DIAGNOSE-LISTE ERSTELLT MIT = AIRL = AUFTRAG: 70155 MESSGEBIET: 72 29.6.71 A 14

PROFIL: 7625 TG 7 SÜD

D2TI	D2UI	D2VI	D2TK	D2K1	D2K2	D2K3	D2HG	TKAZ	SCAZ	ZEIT
0	10	10	20	1	1	1	1	20	0	20

K-NR.	TI	H	M	S	UI	VI	NK1	NK2	NK3	NH	TK	K1	K2	K3	HG
-1											24074 4				
0	2220	12	20	0	7910	0001					24080 20				
1	2221	12	20	20	7771	0002					24086 20				
2	2222	12	20	40	7631	0002					24090 20				
3	2223	12	21	0	7491	0001					24098 20				
4	2224	12	21	20	7349	0000					24102 20				
5	2225	12	21	40	7206	9998					24110 20				
6	2226	12	22	0	7057	0000					24117 20				
7	2227	12	22	20	6911	0000					24126 20				
8	2228	12	22	40	6767	0002					24133 20				
9	2229	12	23	0	6622	0003					24144 20				

TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK
24134	24133	24135	00000 4	24135	24134	24135	2476	24136	24139	24140	24141	24142	24141	24140

24143 24143 24144 24144 24144

K-NR.	TI	H	M	S	UI	VI	NK1	NK2	NK3	NH	TK	K1	K2	K3	HG
10	2230	12	23	20	6475	9998					24151 20				
11	2231	12	23	40	6328	9999					24154 20				
12	2232	12	24	0	6182	9999					24152 20				
13	2233	12	24	20	6032	9998					24154 20				
14	2234	12	24	40	5885	9999					24156 20				

TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK
24154	24155	24156	00000 4	24156	24156	24157	24156	24156	24156	24157	24157	24156	24155	24157

24159 24157 24156 24156 24156

K-NR.	TI	H	M	S	UI	VI	NK1	NK2	NK3	NH	TK	K1	K2	K3	HG
15	2235	12	25	0	5736	9998					24157 20				
16	2236	12	25	20	5591	0001					24152 20				
17	2237	12	25	40	5451	9998					24150				

BD. 9244

7. 71

2. 7. 71

OT.

Med. 002

PRANCHA-3 NE 7530.0210.0343

CPRM

DATENZENTRUM

Steuerkarten für D SY 1

Seite 1 von 2

Auftragsname: MG Nr.: 70155

Profil: MEBSLOHST 17

angegeben am/von: 30 11 1971 / RV

abgelocht am/von: ____ 19__ / ____

1	2	Steuerwort 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		2.2.1 - CORREÇÃO DO NUMERO DO PERFIL												
	A	A I R V	30.11.71	50235		1	235						1	$
			Nº DO VÔO	NUMERO ERRADO DO PERFIL		SINAL DE CORREÇÃO	NUMERO CORRETO DO PERFIL							
		2.2.2 - ELIMINAÇÃO DE TRECHO DO PERFIL (a-INÍCIO DO PERFIL, b-FIM DO PERFIL, c-INÍCIO E FIM DO PERFIL)												
	a-	A I R V	30.11.71	7625				172					1	$
				NUMERO DO PERFIL					K-NR. A PARTIR DO QUAL SE DESEJA O RESULTADO					
	b-	A I R V	30.11.71	7625					312				1	$
									K-NR. A PARTIR DO QUAL SE DESEJA ELIMINAR O RESULTADO.					
	c-A	A I R V	30.11.71	7625				172	312				1	$
		2.2.3												
		2.2.4 - CORREÇÃO DE TI', UE, DU, VT												
		2.2.5												
	A	A I R V	30.11.71	7625									1	$
			54	2372	3533	3399								$
			NÚMERO DO BLOCO	TI CORRETO	UE CORRETO	DU CORRETO								
		2.2.6 - CORREÇÃO DE VALORES MAGNETOMÉTRICOS (a-ALTERAÇÃO, b-ELIMINAÇÃO, c-ACRÉSCIMO)												
	a-A	A I R V	30.11.71	2425									1	$
			103				-1	23993	23994	-4	23996	$		$
			NÚMERO DO BLOCO			NÚMERO DA COLUNA					VALOR ALTERADO (COLUNA 4)			
									VALORES MAGNETOMÉTRICOS ALTERADOS RELATIVOS AS COLUNAS 1 A 2.					
	b-A	A I R V	30.11.71	7625									1	$
			25				-16	-16	$					$
			NÚMERO DO BLOCO						ORDEM PARA O COMPUTADOR ELIMINAR O VALOR MAGNETOMÉTRICO DA COLUNA 16.					
	c-A	A I R V	30.11.71	7625									1	$
			28				-18	24156	24157	24159	$			$
			NÚMERO DO BLOCO			NÚMERO DA COLUNA		VALORES MAGNETOMÉTRICOS ACRÉSCIMADOS A PARTIR DA COLUNA 13.						

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

PRANCHA-4

CPRM

NE 7639.0210.0343

Mod. 002

DATENZENTRUM

Steuerkarten für D SY 1

Seite 2 von 2

Auftragsname: MG Nr.: 70155

Profil: MEßGEBIET 17

angegeben am/von: 30 . 11 . 19 71 / RV

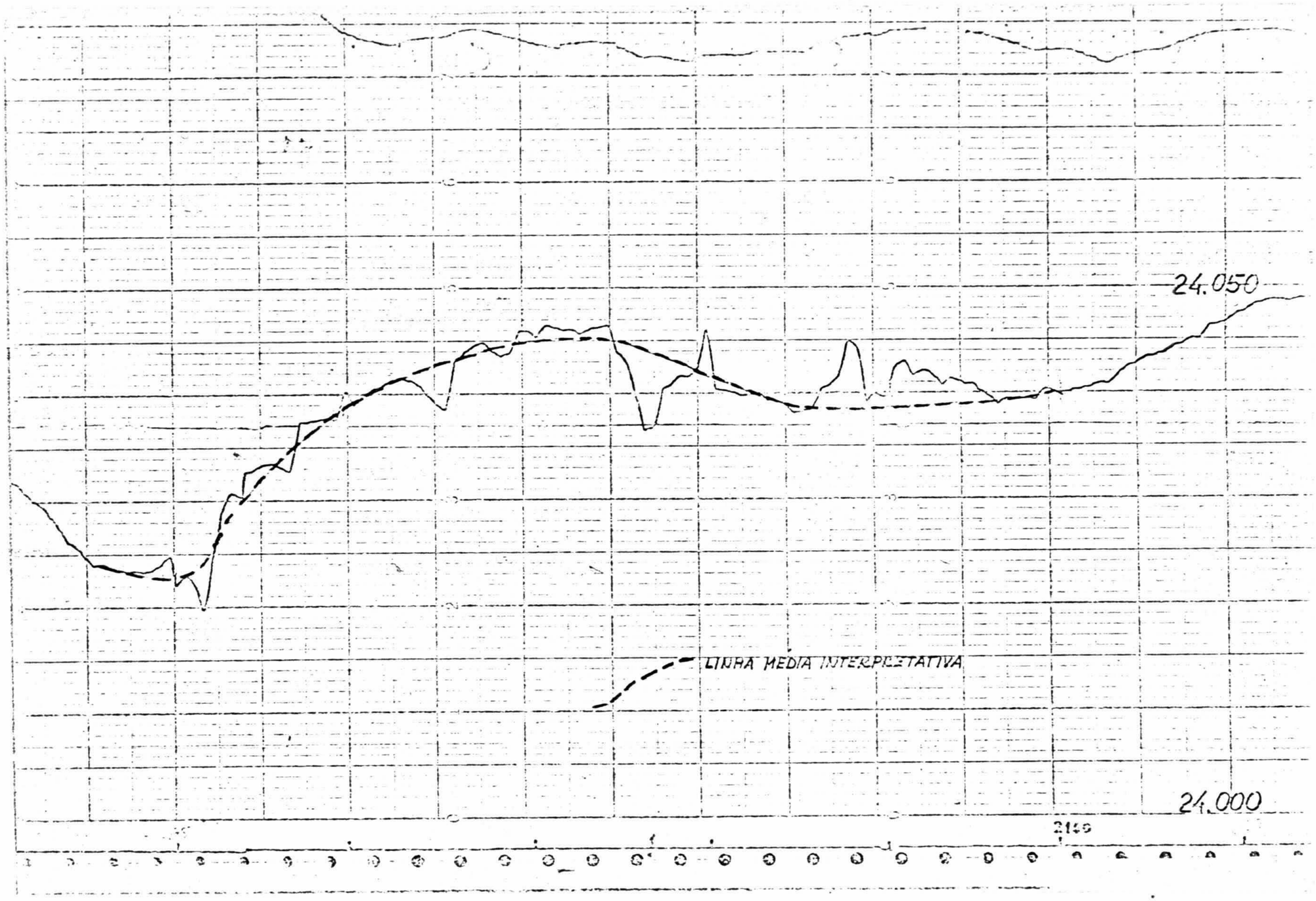
abgelocht am/von: . . 19 /

1	2	Steuerwort 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15 laufende Nr.
		2.2.	7 - DIVISÃO DE UM BLOCO EM DOIS											
	A	A I R V	30.11.71	2670										$
			12				-21	-10000	1685		3930	$		$
		NUMERO DO BLOCO →						→ NO DIVIDIR DO BLOCO A ENTRE OS TRECHOS A DIVIDIDO A ENTRE						
								EXISTE AGORA VALORES MAGNETICOS A DIVIDIR QUE TEM SIDO MAS TRANSFERIDOS PARA ARQUIVOS DEC						
								A ENTRAR TODOS OS VALORES PARA O BLOCO A FALTAR PARA VER						
		2.2.	8 - FUSÃO DE DOIS OU MAIS BLOCOS CONSECUTIVOS (FUSÃO DOS BLOCOS 50 E 51 COM O BLOCO 49)											
	A	A I R V	30.11.71	240										
			10050				$							$
			10051				$							$
		SINAL DE FUSÃO →		→ NUMERO DO BLOCO A SER SUBSTITUIDO PELO ANTERIOR										

PRANCHA-5

NE 7530.0210.0343

CPRM



CPRM

PRANCHA - 6

NE 7530.0210.0343

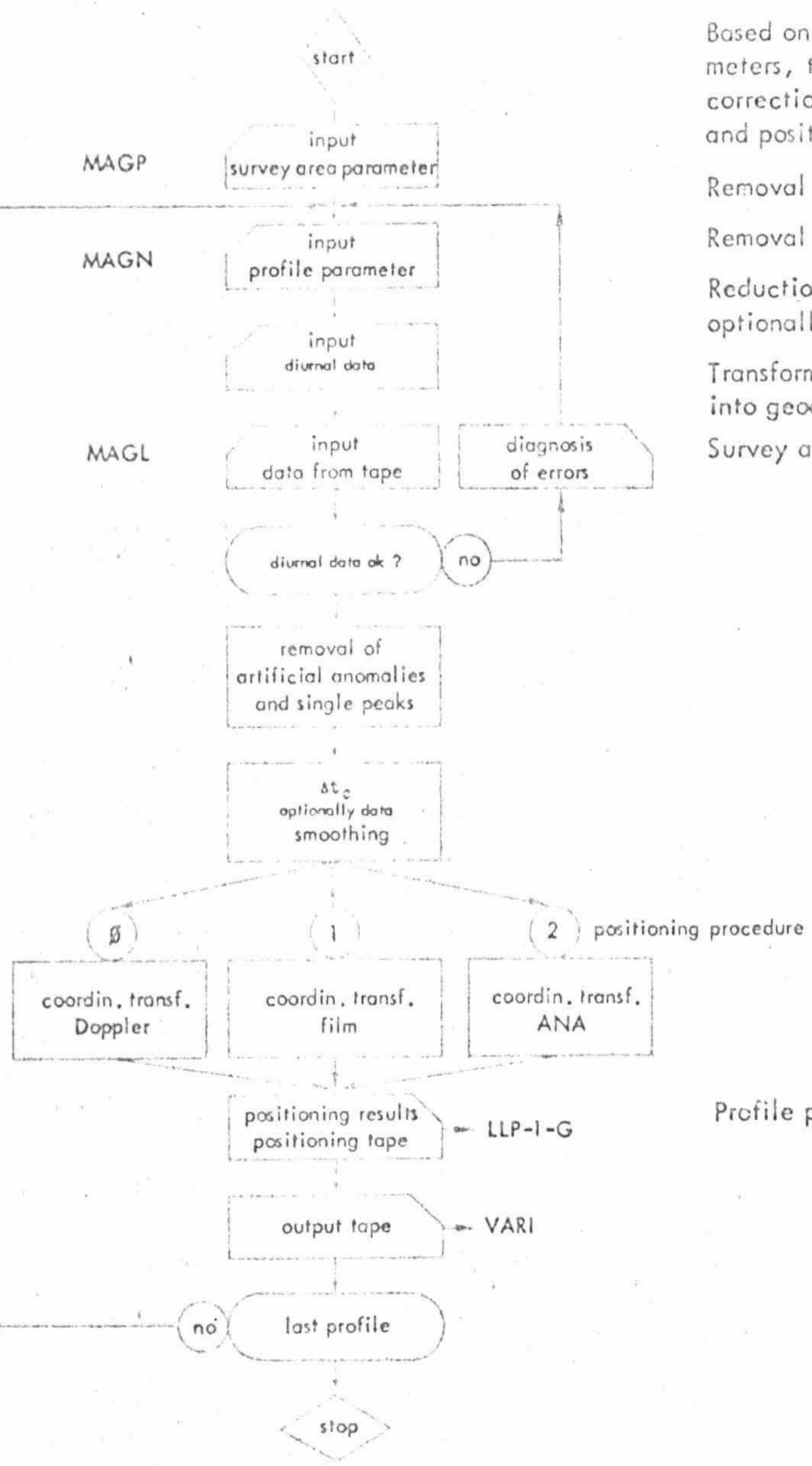
Mod. 002

CPRM

Aerogeophysics

Data Processing on Profiles

2. program of routine processing



Based on survey area parameters and profile parameters, the program MAGN applies the following corrections and calculations to the geophysical and positioning data:

Removal of artificial magnetic anomalies;

Removal of single peak values;

Reduction of diurnal magnetic variation, optionally smoothing of data;

Transformation of recorded positioning data into geodetic coordinates.

Survey area parameters (punched cards)

x_0, y_0:	origin of local survey system
D_f:	dimension factor for magnetometer recording
e'_f:	threshold for single peak values
e_s:	distance aircraft to bird
e_F:	dimension factor for magnetometer data
Δt_c:	constant reduction amount for magnetometer data
VAR ε	$\lvert(\Delta t_B)_{i+1}-(\Delta t_B)_i\rvert$: threshold limit for magnetic variation
d_K, d_M:	parameters for magnetic loxodrome correction in Doppler navigation
D_u, D_v:	wave length in electromagnetic 2-range navigation
$x_1 y_1 H_1$:	coordinates of transmitter 1 in electromagnetic 2-range navigation
$x_2 y_2 H_2$:	coordinates of transmitter 2 in electromagnetic 2-range navigation

Profile parameters, reference data (punched cards)

G=2n+1:	number of values applied for data smoothing
$S_i$max:	total number of fiducials
P_i:	profile number
Flight data:	date/operator
Time:	initial time of profile survey
Phad u, v:	phase corrections in electromagnetic 2-range navigation
s_i:	fiducial number i
Δt_{BI}	diurnal variation (base station magnetometer)
Δu_a:	relative distance of profile coordinates to next fix point
$x_a y_a$:	fix point coordinates
f_i^*	corrected geophysical data at artificial magnetic anomalies

PRANCHA - 7

CPRM

MAGN (DSY)

CD 3100/3300

```
MESSGERAETSPARAMETER

AUFT   LUXEMBURG                          68146      MESSGA      1
         PROGRNR          +554
MAGP     5000000       3000000            1          10          18.5
               1         40000            1    0.000015           0
                                                     2            1


PROFILPARAMETER

MAGN     5     27  3020 25.08.68/WA  9.40
  2          755              22      485920      302000
  8                           19      497095      302205
 14                           08      507985      302200
 15                                                            47138
 17                                                            47137
 18                                                            47136
 19                           96      518915      302175
 25                           96      530045      302105


ERGEBNISSE   PROFIL =   260

ORTUNGSSTREIFEN DATEN =  22.06.68/NU.  LOCHER =   11.07.68/KL.
GEFLOGEN =  21.06.68/SC.  UM 13.17 UHR MIT BOGENSCHNITTNAVIGATION
GLAETTUNG DER MAGNETOMETERWERTE =  1        SENDERSTOERUNGEN =  0


DTAU  =  +.50796031/+03  MITTEL KURZPERIOD. VARIATION IN GAMMA
R     =  +.12943907/+03  MITTL. PROFILRICHTUNG IN GRAD
S     =  +.10755681/+04  MITTL. ORTUNGSINTERVALL IN M
QMAX  =  +.13391488/+03  MAX. POSITIVE QUERABWEICHUNG IN M
QMIN  =  -.89412327/+02  MAX. NEGATIVE QUERABWEICHUNG IN M
L     =  +.13422715/+03  PROFILLAENGE IN KM

ORTUNGSERGEBNISSE                          STRECKEN-   WINKELFEHLER
                                             [M]         [°]

 SI          XI                YI            DSI         DPHI

100025  +.53213169/+05  +.78650343/+06  +.6497/+02  -.3974/+01
   024  +.52518695/+05  +.78723755/+06  -.8646/+01  -.2404/+01
   023  +.51795360/+05  +.78804527/+06  -.2132/+02  -.1937/+01
   022  +.51070328/+05  +.78886837/+06  -.1633/+01  +.3529/+00
   021  +.50391170/+05  +.78970450/+06  -.1185/+02  +.1790/+00
   020  +.49703010/+05  +.79054647/+06  -.3867/+02  +.1196/+01
   019  +.49013296/+05  +.79142159/+06
```

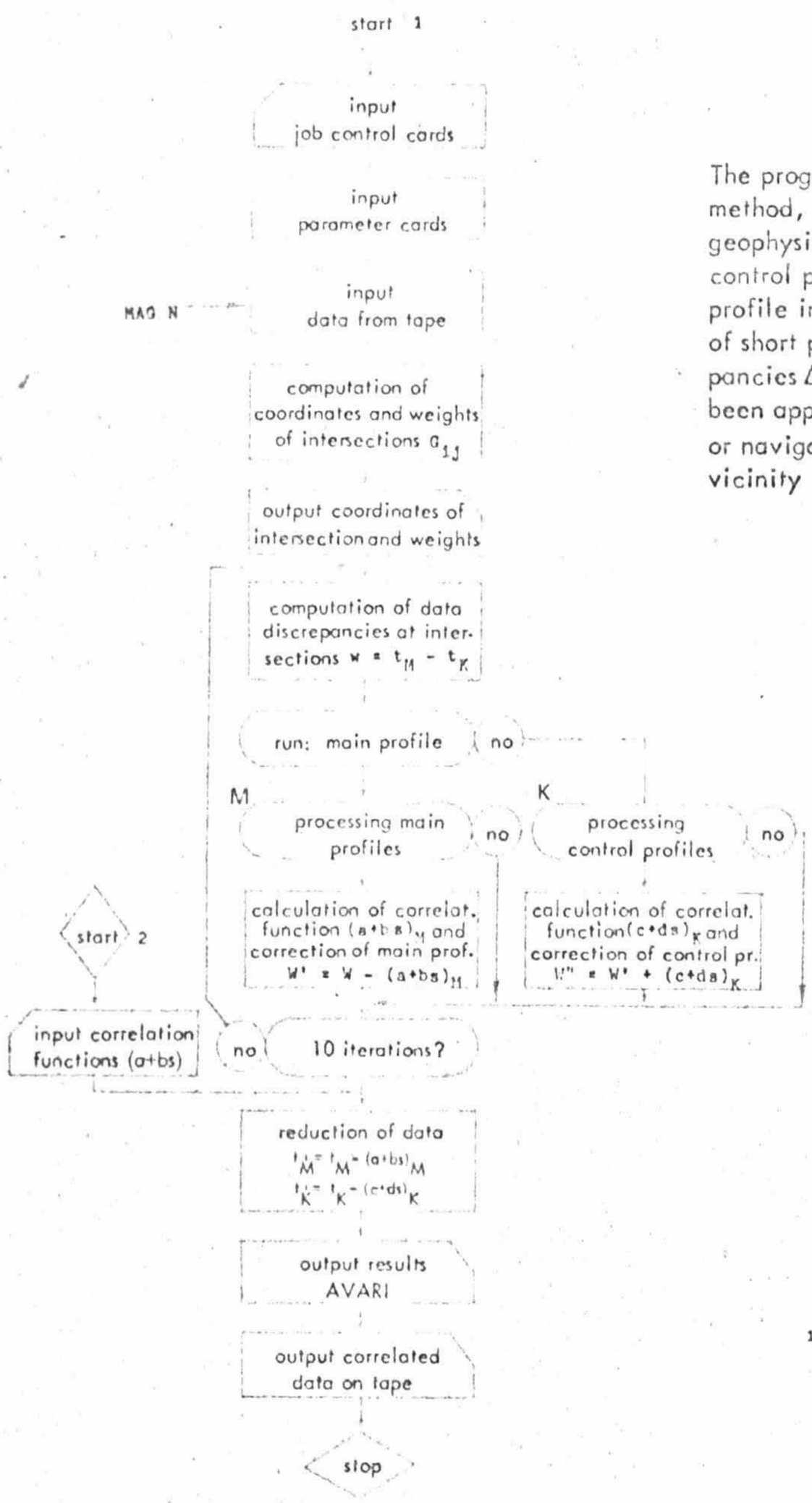
PRANCHA-8

CPRM

Aerogeophysics

Linear Correlation of Data from Main and Control Profiles

3. program of routine processing



The program Vari determines, by a least square method, linear correlation functions for the geophysical data t of main profiles M and control profiles K from data discrepancies at profile intersections, remaining after removal of short periodic variation. Residual discrepancies ΔW remaining after the functions have been applied, are considered to be due to noise or navigation errors and are compensated in the vicinity of the intersections.

$W_{M,K} = t_M - t_K$ data discrepancy

$a_{M,K} = 1 + n'_{M,K} - F_{M,K}$ weight of intersection

$n'_{M,K} = 0$ for calculated intersections

$n'_{M,K} = 0{,}25$ for observed intersections

$F_{M,K} = |0{,}0005(t_{M+2} - t_{M-2} + 2(t_{M+1} - t_{M-1}) + t_{K+2} - t_{K-2} + 2(t_{K+1} - t_{K-1}))|$

$W_{M,K} = (a+bs)_M - (c+ds)_K \; ; \; a_{M,K}$

$\Sigma((a+bs)_M - (c+ds)_K - W_{M,K})^2 \Rightarrow$ Min. (iter.)

$(a+bs)_M$ = correlation function for main profiles (M)

$(c+ds)_K$ = correlation function for control profiles (K)

s = length on profile

$\Delta W_{M,K}$ = residual discrepancies,

$1/2\Delta W_M = -1/2\Delta W_K$ adjusted in the vicinity of the intersection by a Gauss curve

PRANCHA-9

Mod. 002

NE 7530.02.0.0343

CPRM

VARI (DSY)

CD 3100/3300

Sample listing from AVARI

SCHNITTPUNKTERMITTLUNG

PROFIL	X	Y	T(M-K)	GEWICHT	T(K)	T(M)	S(K)	S(M)
5022								
761	760949	502170	-13.875	1.24994	+7827.000	+7813.124	53.539	73.396
772	772166	502236	-12.000	1.24999	+7877.000	+7865.000	2.663	67.326
783	783922	502231	-13.053	1.24974	+7888.116	+7875.062	1.635	61.481
794	793947	502178	-13.294	1.24979	+7896.913	+7883.628	58.576	55.564
805	804830	502222	-7.108	1.24964	+7916.094	+7908.986	2.641	49.679
816	815879	502221	-2.883	1.24969	+7936.000	+7933.116	58.319	43.698
827	827005	502226	+2.668	0.99984	+7954.331	+7957.000	2.104	37.620
838	838006	502220	+5.526	0.99974	+7981.906	+7987.432	59.867	31.622
849	849043	502288	+1.032	0.99979	+7997.078	+7998.110	58.971	25.619
860	860089	502305	-1.715	1.24984	+8002.949	+8001.233	0.637	19.619
871	870950	502221	-18.130	1.24951	+8031.897	+8013.768	58.039	13.710
882	882123	502181	-23.199	0.99984	+8065.199	+8042.000	2.149	7.655
893	893003	502120	-36.091	1.24994	+8100.391	+8064.000	58.701	1.760
5044								
761	760888	504177	-12.703	1.24994	+7825.000	+7812.296	52.455	1.879
772	772182	504279	-13.451	1.24989	+7876.000	+7862.548	3.775	8.021

VARIATIONSAUSGLEICH

PROFIL	X	Y	KORR(M)	KORR T(M)	A(M,K)	B(M,K)	KORR(K)	REST-WIDERSPR
5022					+50.27	-0.000062		
761	760949	502170	+2.95	+7810.16	+42.46	-0.000056	+13.92	-2.91
772	772166	502230	+2.26	+7862.73	+82.36	-0.000135	+14.39	+0.13
783	782922	502231	+1.59	+7873.46	+27.25	-0.000026	+14.00	-0.63
794	793947	502178	+0.90	+7882.72	+78.55	-0.000128	+13.80	-0.38
805	804830	502222	+0.23	+7908.75	+40.85	-0.000070	+5.45	-1.88
816	815879	502221	-0.45	+7933.57	+41.77	-0.000069	+6.97	+4.54
827	827005	502226	-1.14	+7958.14	+0.43	-0.000005	-2.14	+1.67
838	838006	502220	-1.83	+7989.26	-8.62	-0.000000	-8.62	-1.26
849	849043	502288	-2.51	+8000.62	+70.24	-0.000140	-0.23	+3.32
860	860089	502305	-3.20	+8004.43	+10.68	-0.000025	-2.04	-0.55
871	870950	502221	-3.88	+8017.64	+58.46	-0.000093	+11.29	-2.95
882	882123	502181	-4.57	+8046.57	+61.27	-0.000086	+17.92	-0.69
893	893003	502120	-5.25	+8069.25	+61.94	-0.000065	+28.98	-1.85
5044					+42.36	-0.000052		
761	760888	504177	+2.49	+7809.80	+42.46	-0.000056	+13.80	-1.39
772	772182	504279	+1.90	+7860.61	+82.36	-0.000135	+14.11	-1.23

PRANCHA - 10

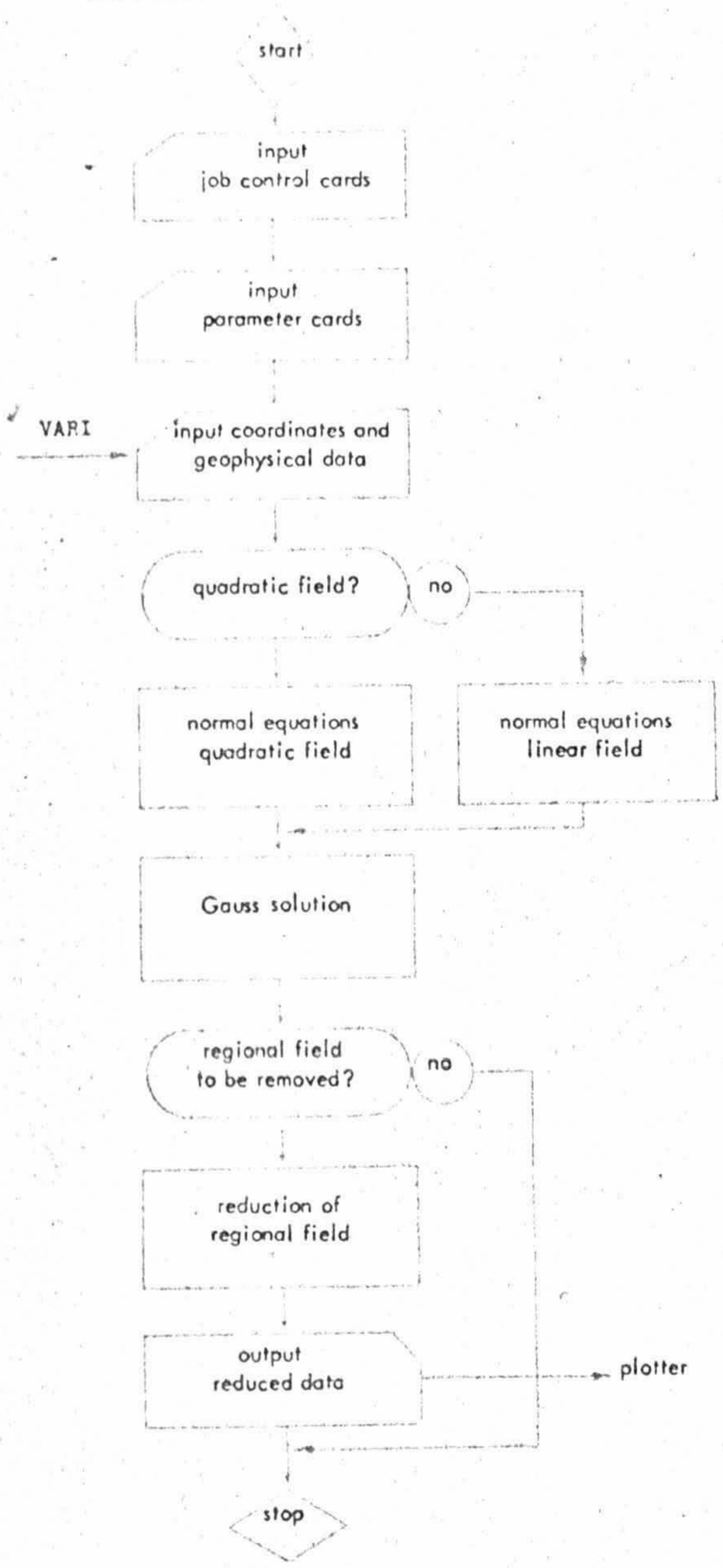
Mod. 002

NE 7530.0200.0343

Aerogeophysics

Regional Field

4. program of routine processing



The program determines and reduces the following best fitting regional fields from arbitrarily distributed field data:

linear: $H_R = a_{00}+a_{10}\Delta x+a_{01}\Delta y$

quadratic: $H_R = a_{00}+a_{10}\Delta x+a_{01}\Delta y$
$+a_{20}\Delta x^2+a_{11}\Delta x\Delta y+a_{02}\Delta y^2$

with the origin x_0, y_0
and $\Delta x=x-x_0$, $\Delta y=y-y_0$

The reduction of the regional field is needed for any type of geological interpretation.

PARAMETER

P number of main profiles

Q number of control profiles

x_0, y_0 } coordinates of the origin of the regional field

R 0: The regional field defined by the following parameters has to be removed

1: A linear regional field has to be determined and removed

2: A quadratic field has to be determined and removed

at R=0 a_{00}, a_{10}, a_{01}, a_{20}, a_{11}, a_{02} } coefficients of the regional field

DATA

The data format must be on tape in terms of $x_i y_i H_i$.

PRANCHA - 11

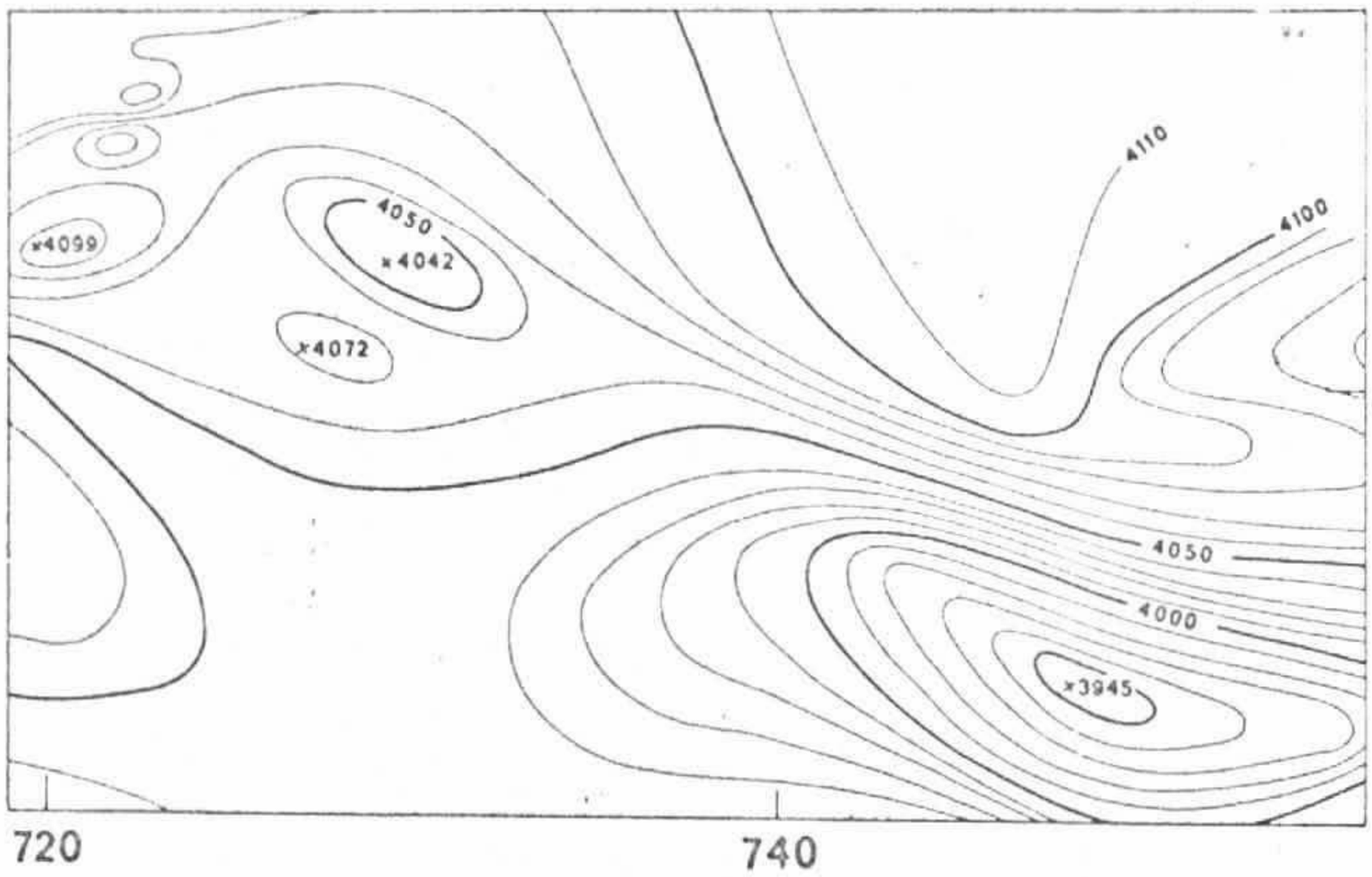
CPRM

REGI (DSY)

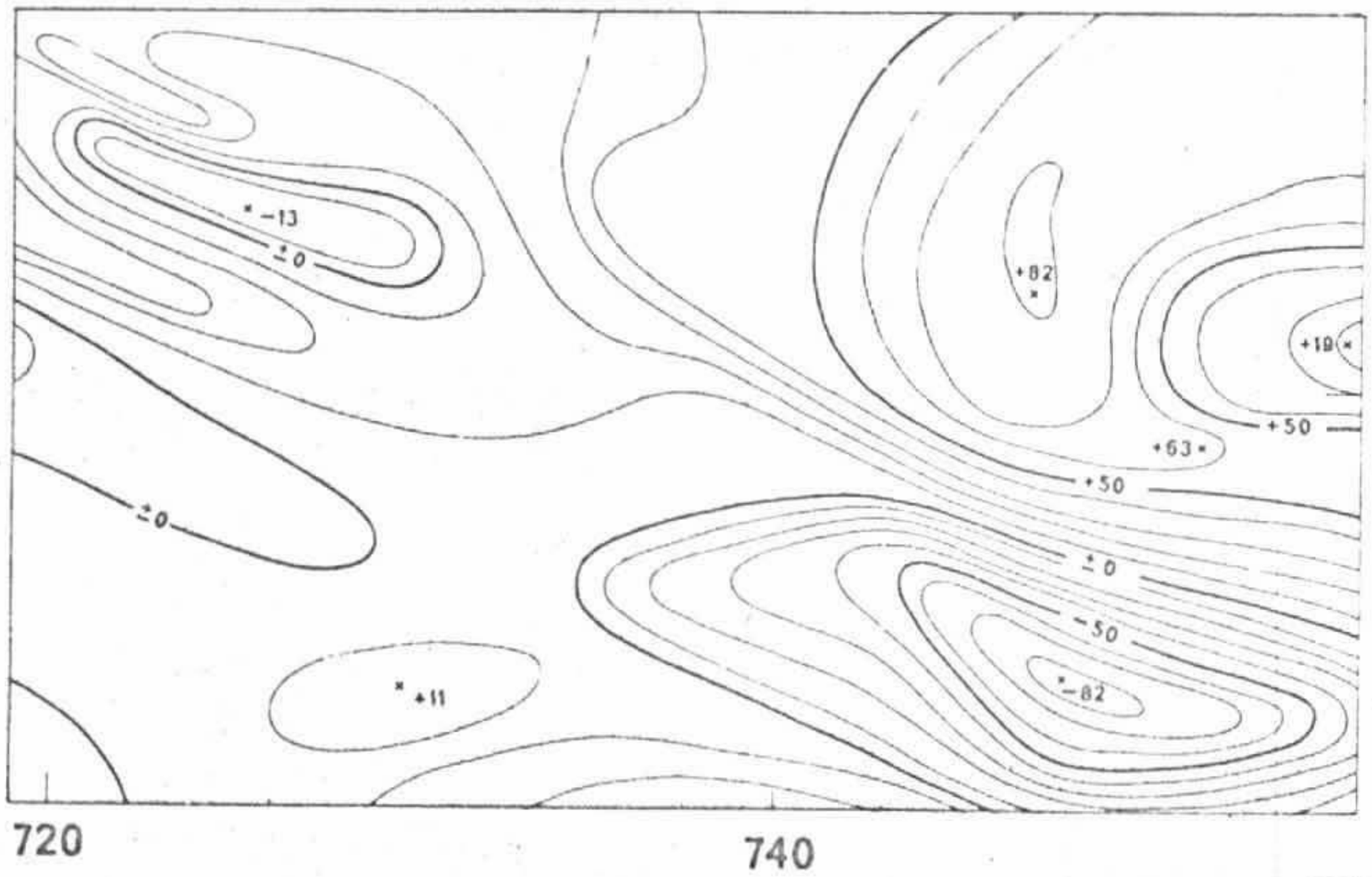
CD 3100/3300

Sections of magnetic maps

Isodynamic lines



Isogams (regional field reduced)



PRANCHA - 12

Mod. 002

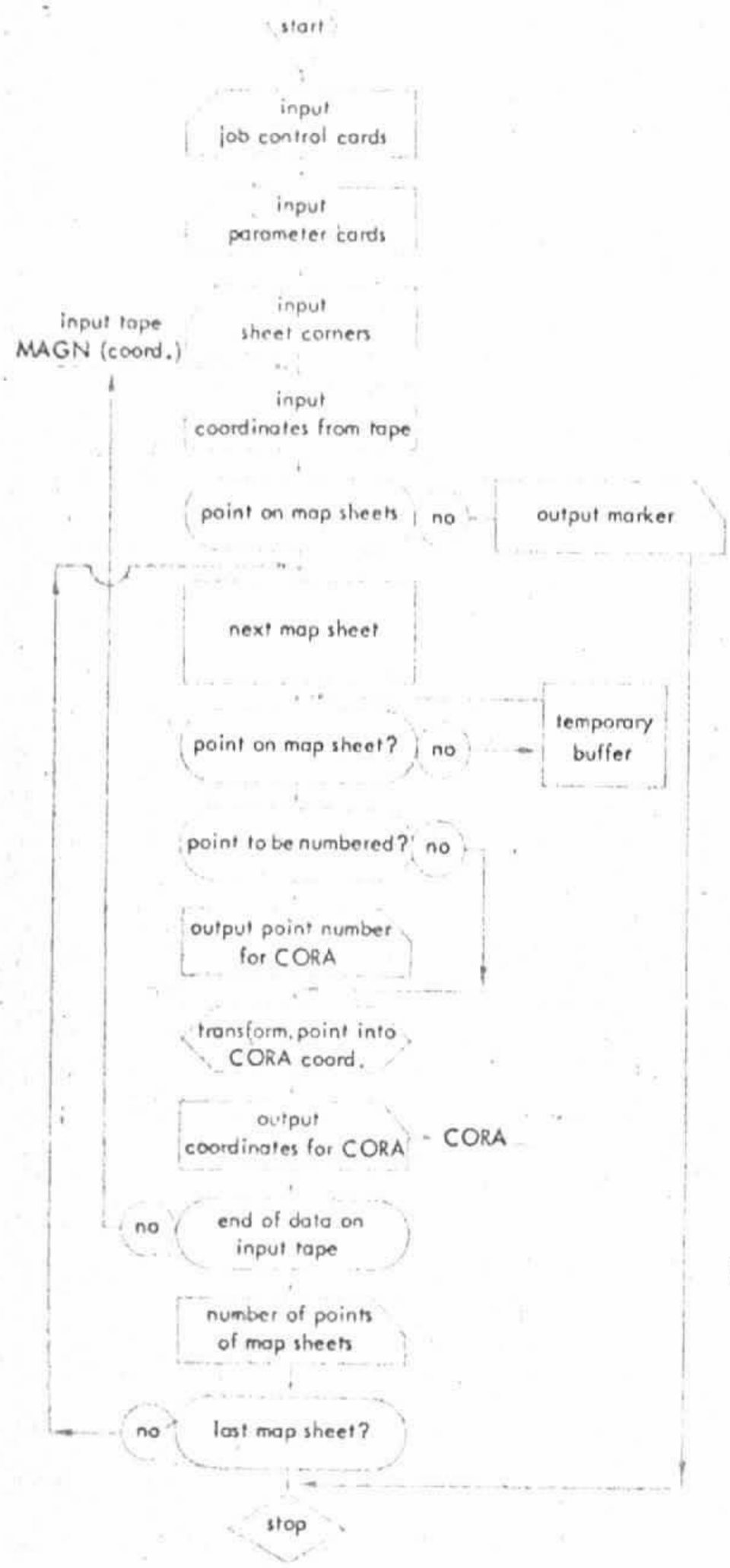
NE 7530,0240,0343

CPRM

Aerogeophysics

Automatic Plotting of Flight Position with Map Grid

Separate control tapes for map grids are also produced by NE-803 programs VKE 1A and VKE 2A



The program LLP 1 G sorts surface coordinates of a flight traverse, provided on magnetic tape, from different map sheets and prepares punched paper tapes for the CORADOMAT plotter for automatic plotting of flight lines, map layout and coordinate grid.

INPUT DATA (PUNCHED CARDS)

1. PARAMETER

map layout	yes/no (0/1)
surface grid	yes/no
geographic grid	yes/no
block format	24/64
factor for fiducials to be numbered	

Ellipsoid
1: Bessel
2: Clarke 1866
3: Clarke 1880
4: Everest
5: Hayford (international)
6: Krassowsky
7: Name optional
major semi-axis, flattening

Projection
1: Gauss-Krueger
2: UTM

Central Meridian
1: input
2: derived

southern latitudes negative	yes/no
number of scale	
grid selector for x, y	
grid selector for latitude	
grid selector for longitude	

2. MAP SHEETS

number of map sheets

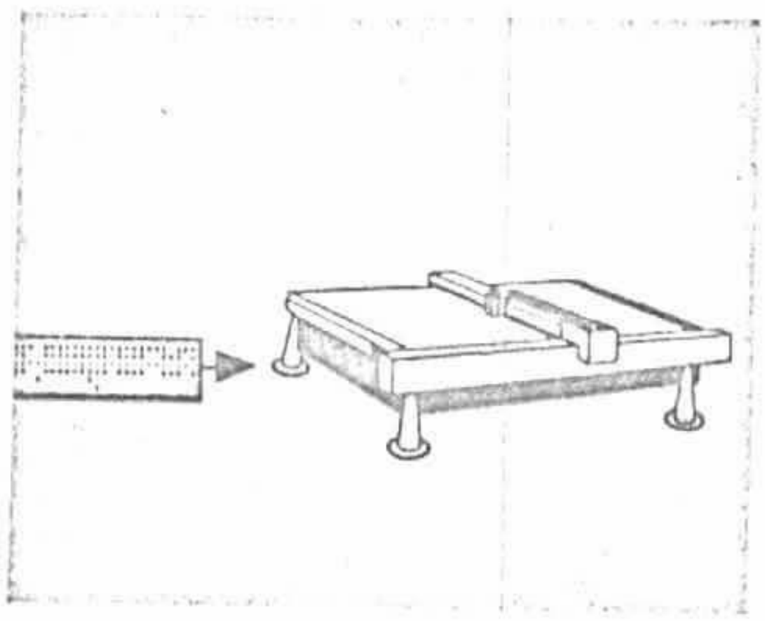
SW-point:	geographic latitude/longitude	
SE-point:	geographic latitude/longitude	sheet 1
NE-point:	geographic latitude/longitude	
NW-point:	geographic latitude/longitude	
.....	.....	sheet 2
.....	.....	

PRANCHA-13

CPRM

LLP 1G

Fortran / CD 3100



ERGEBNISLISTE LLP1G

AUFTRAG= BOLIVIEN 67027

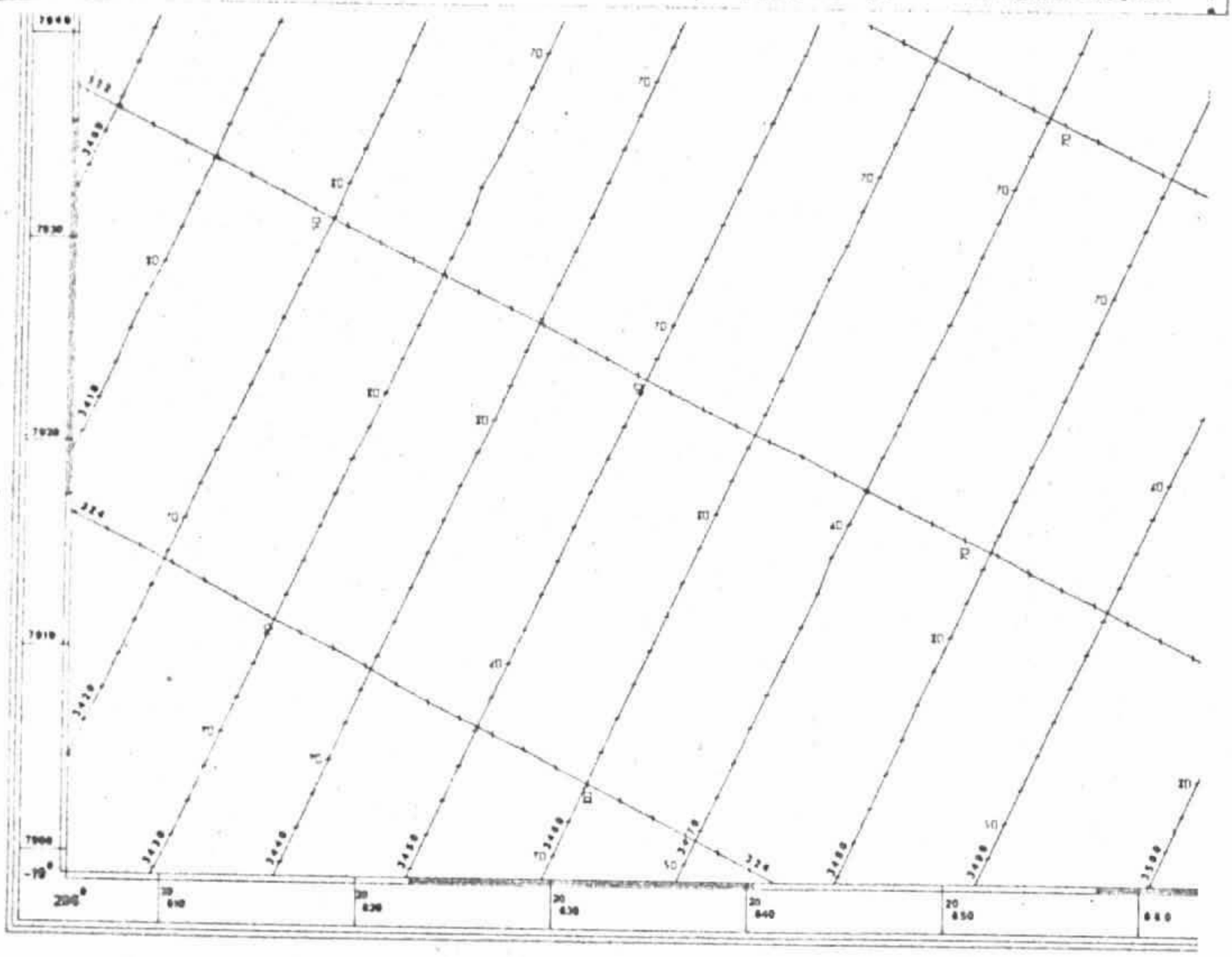
DATEN= 08.03.68/RI. ABGEL.= 08.03.68/RI.

TEILMESSGEBIET= 5

ELLIPSOID= HAYFORD ABBILDUNG= UTM KARTENMASSSTAB=1/200000

KOORDINATEN DER KARTENECKPUNKTE=

KARTENNR.	GEOGR. BREITE GRAD	MIN	SEK	GEOGR. LAENGE GRAD	MIN	SEK	X=HOCH METER	Y=RECHTS METER
24	-19	0	0	298	0	0	7898847.437	20605258.432
	-19	0	0	299	0	0	7897949.816	20710542.308
	-18	0	0	299	0	0	8008647.619	20711768.891
	-18	0	0	298	0	0	8009504.574	20605871.308



PRANCHA - 14

Mod. 002

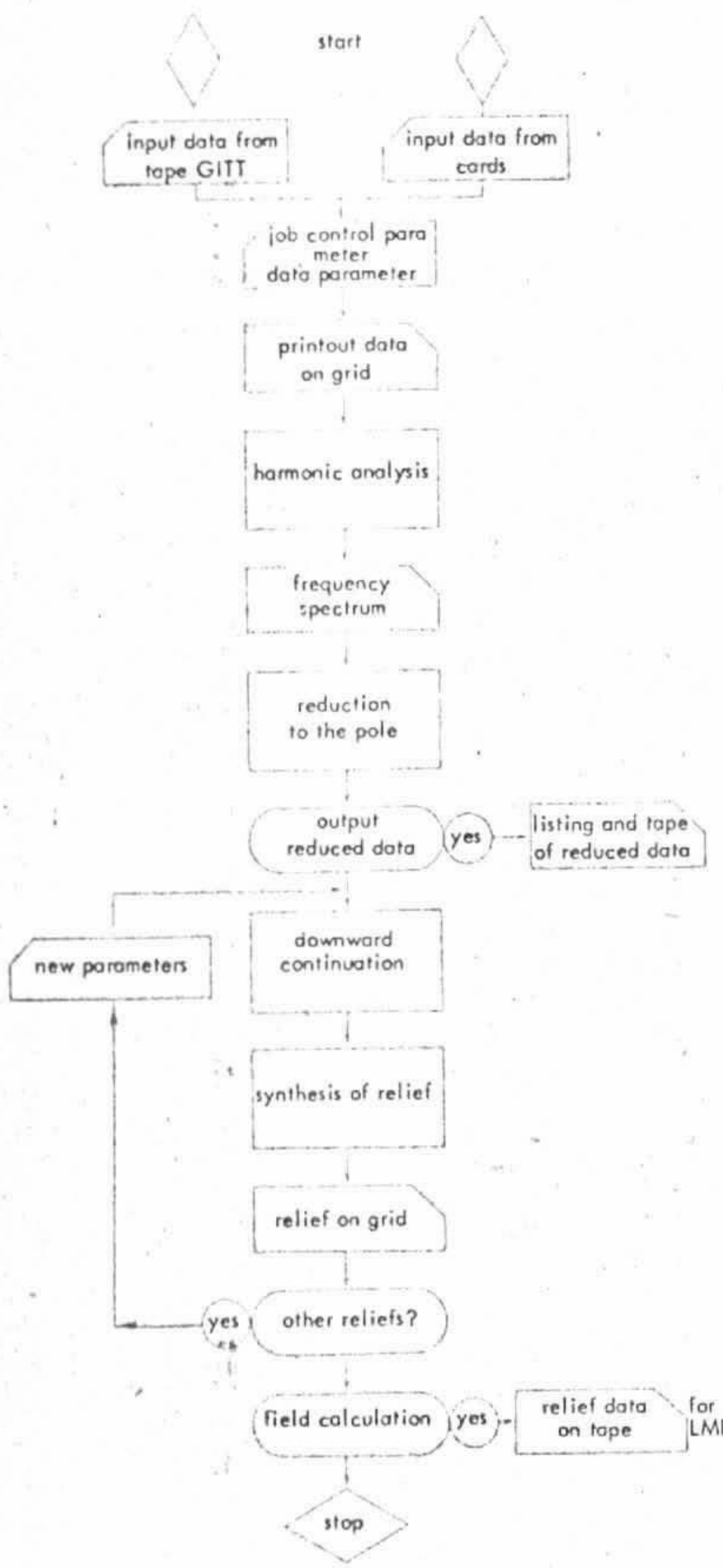
NE 7530.0210.0343

CPRM

Aerogeophysics

Computation of the Relief of a Homogeneously Magnetized Semispace

(Harmonic Analysis and Synthesis)



The program LMRB calculates distances of a homogeneously magnetized semispace from the survey level (e.g. relief of the magnetic basement) using magnetic data provided on an orthogonal grid.

Method: A. Hahn (1965), Program: E.G. Kind

Parameter:

z_o	Elevation of survey level above mean sea level	
z_Q	Depth of interpretation level beneath mean sea level	
PPA	Grid width	
λ	Section width	
J_o	Magnetization = $x \cdot F_o$	
N_{Min}	lowest	frequency applied for relief composition
N_{Max}	highest	

The two-dimensional Fourier analysis of the data derives the amplitudes and phases of all possible partial waves, the summation of which represents the original field.

From the frequency spectrum the determination of mean depths of dominating magnetic sources is possible. Using inclination and declination of the magnetic earth field, the partial waves are transformed as being produced by vertical magnetized sources, (reduction to the pole).

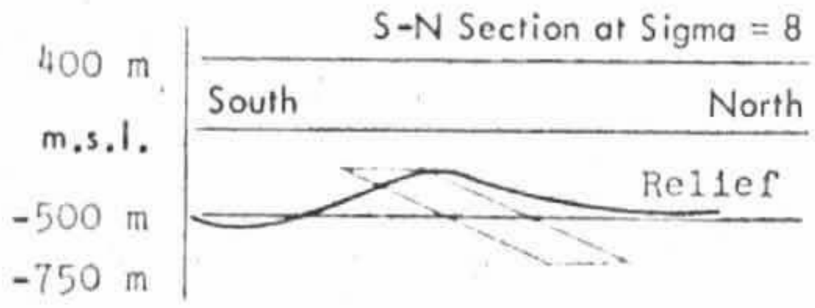
These partial waves are continued downward to le the chosen mean interpretation depth, thereby enhancing the amplitudes depending on the frequency of the waves.

The magnetization of the semispace of interest is derived from geological data. Applying this magnetization, the amplitudes of the partial waves are converted to distances from the mean depth and added to form the relief.

CPRM

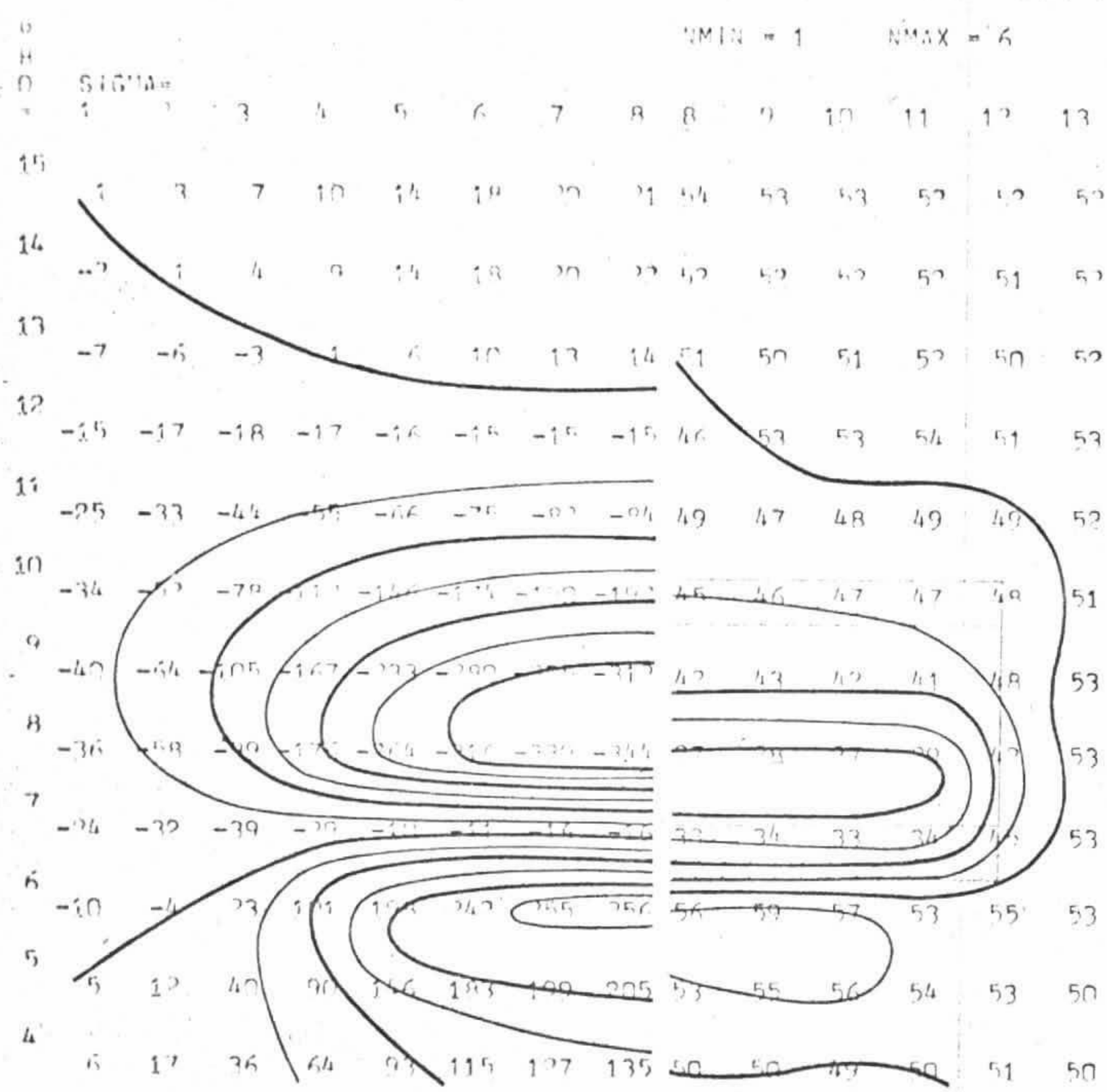
LMRB

Example:



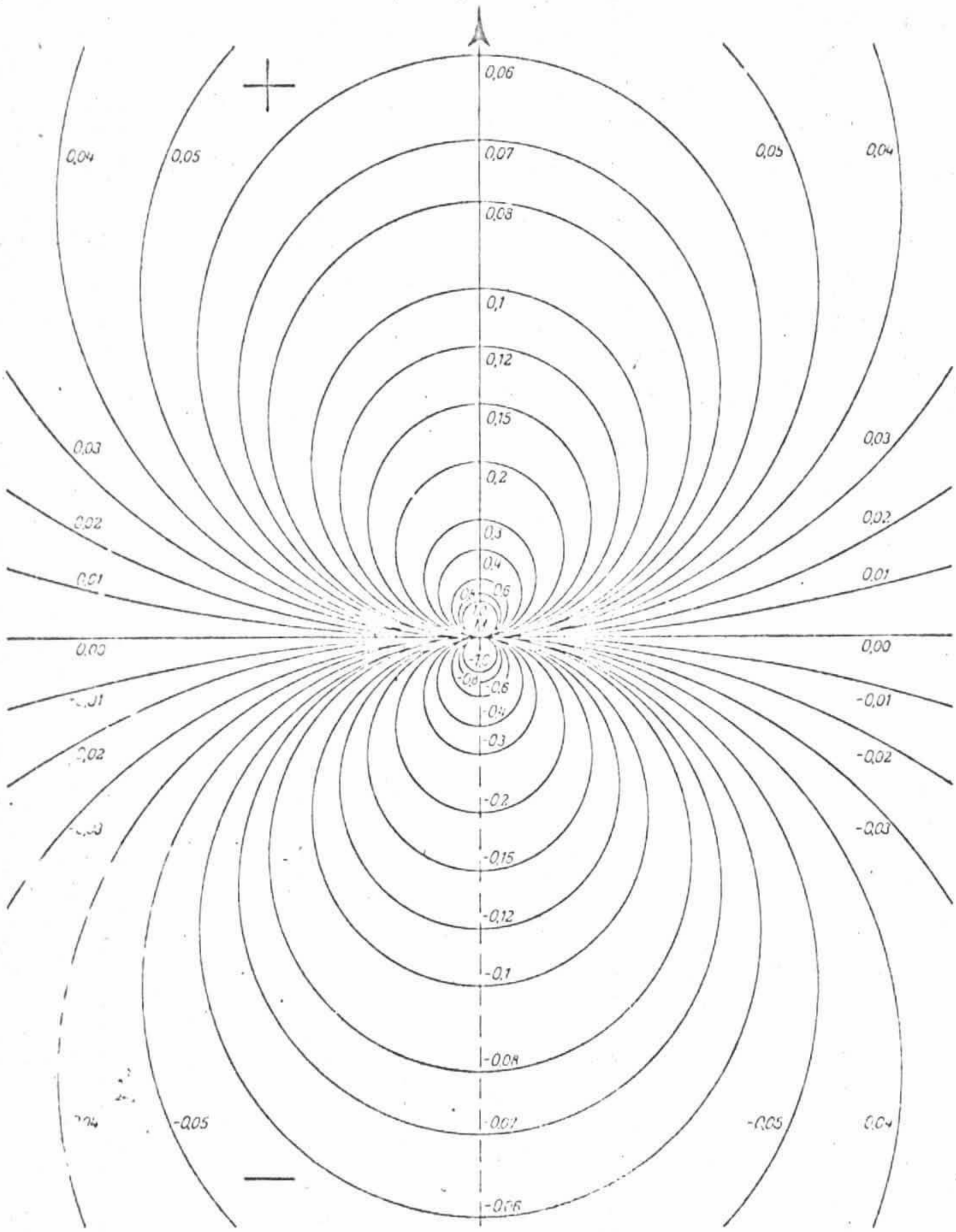
Z_0 = 400 m above m.s.l.

Z_Q = 500 m beneath m.s.l.



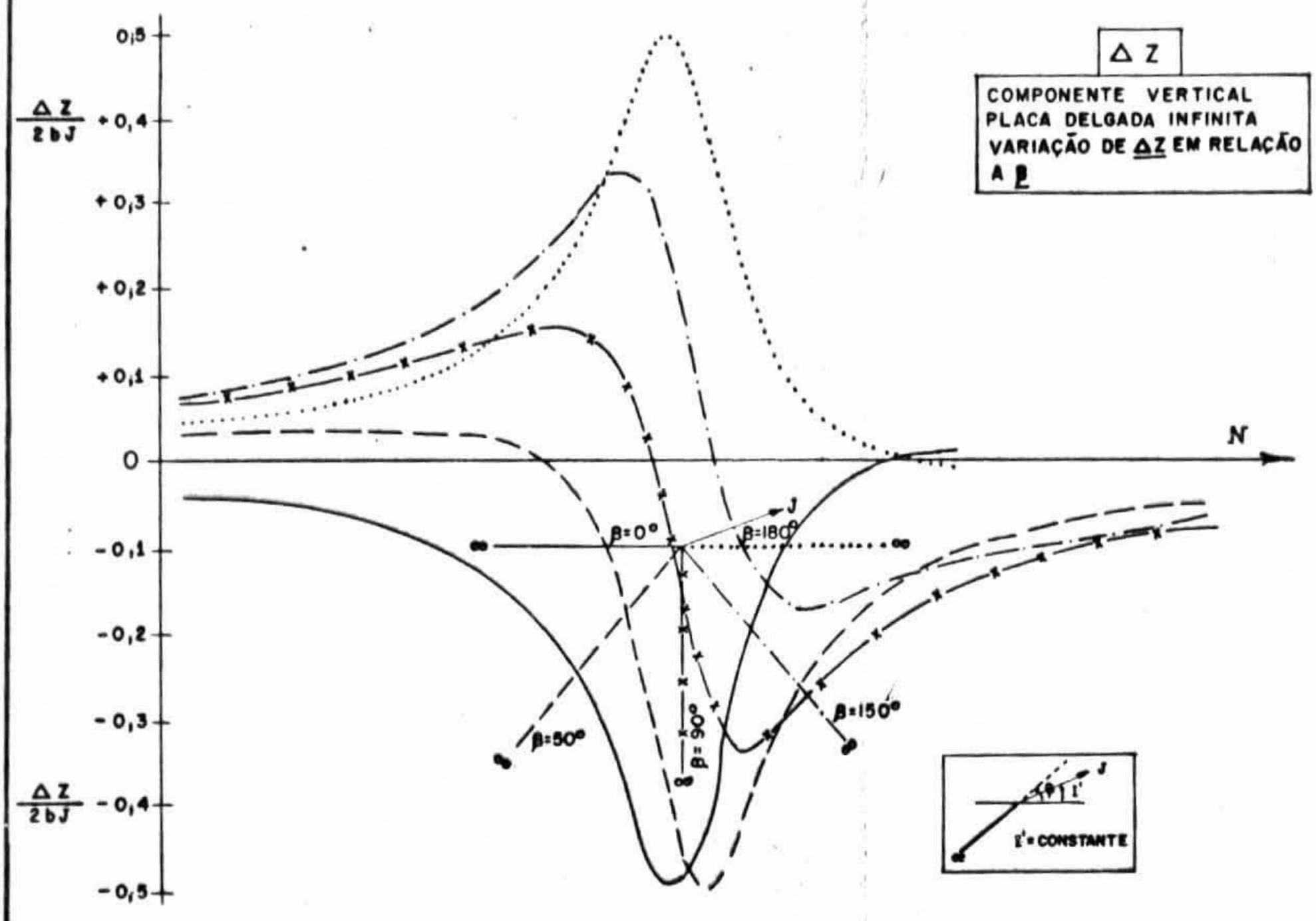
PRANCHA - 16

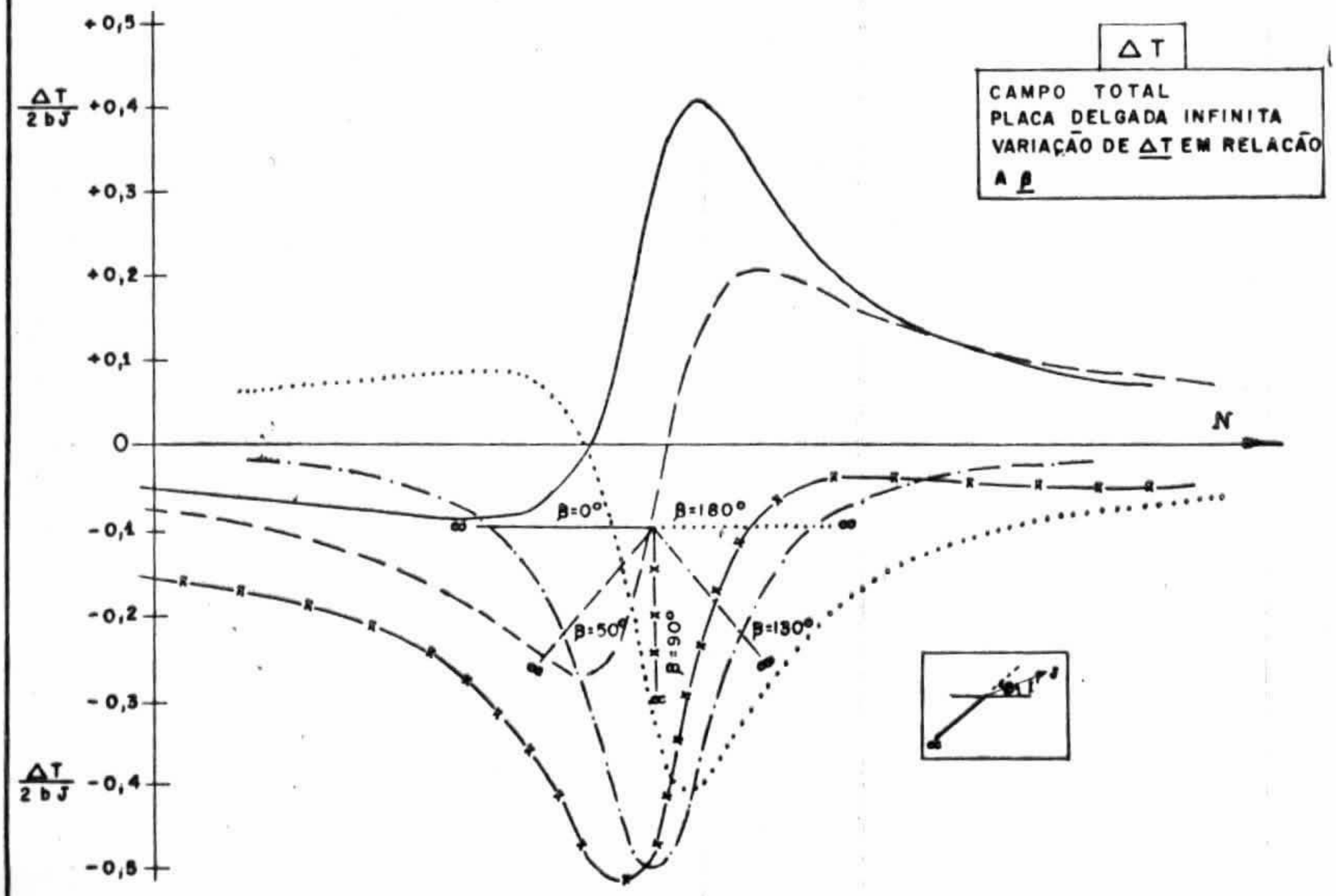
CPRM



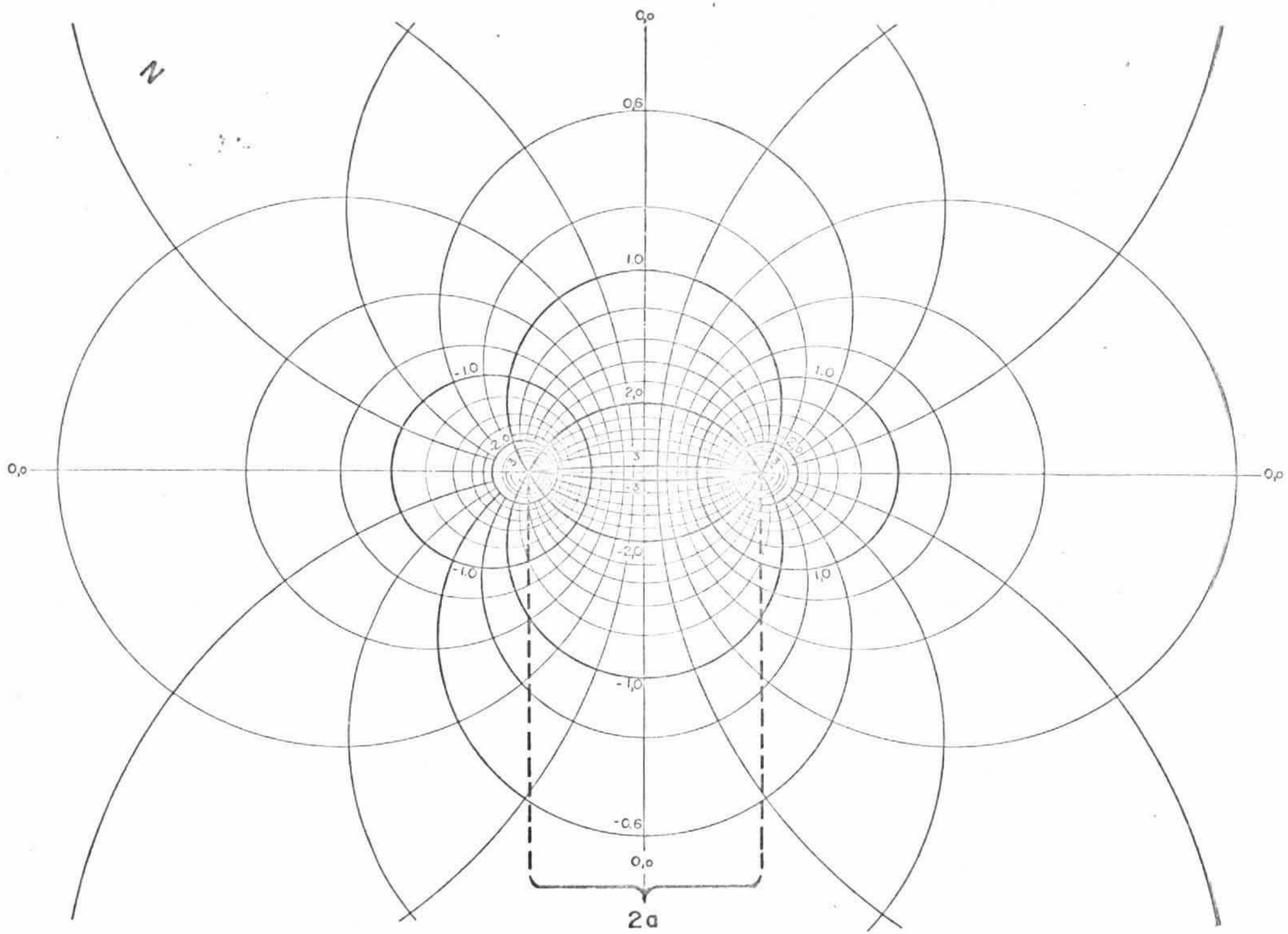
ÁBACO Nº 1 - DIAGRAMA DE BARANOV PARA PLACA DELGADA

CPRM





PRANCHA - 18

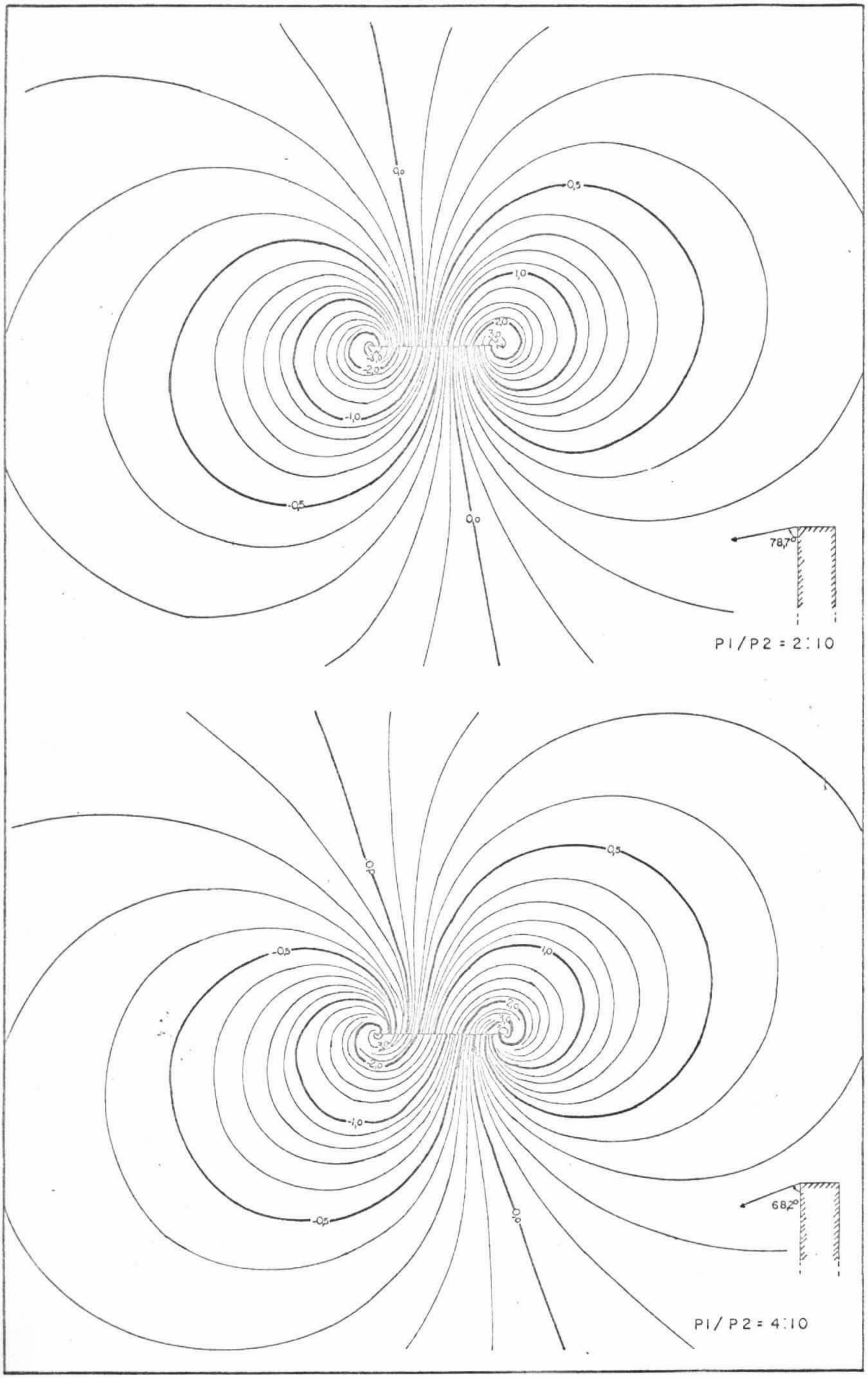


ÁBACO Nº 2 - PLACA ESPESSA

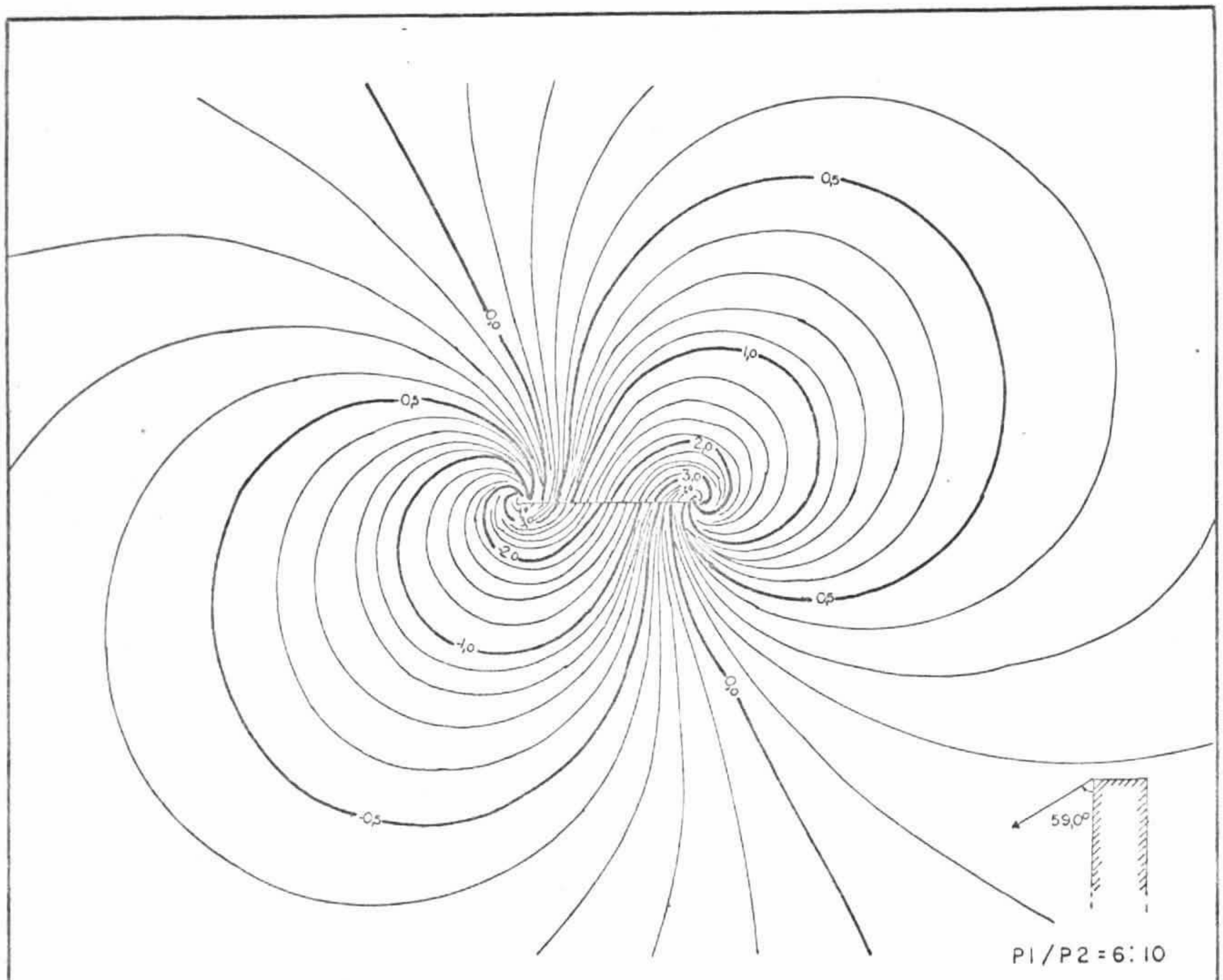
CPRM

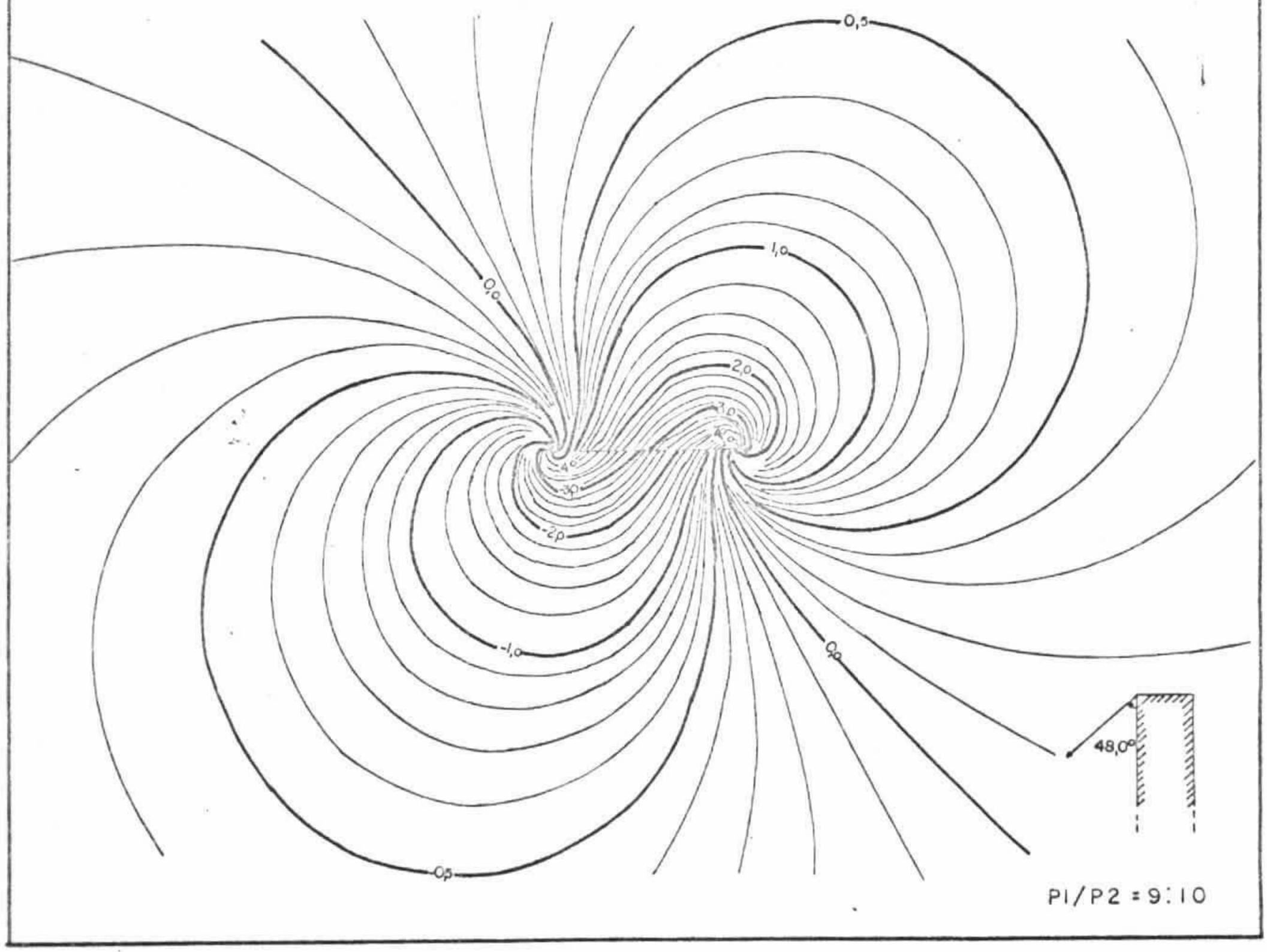
PRANCHA - 19

CPRM

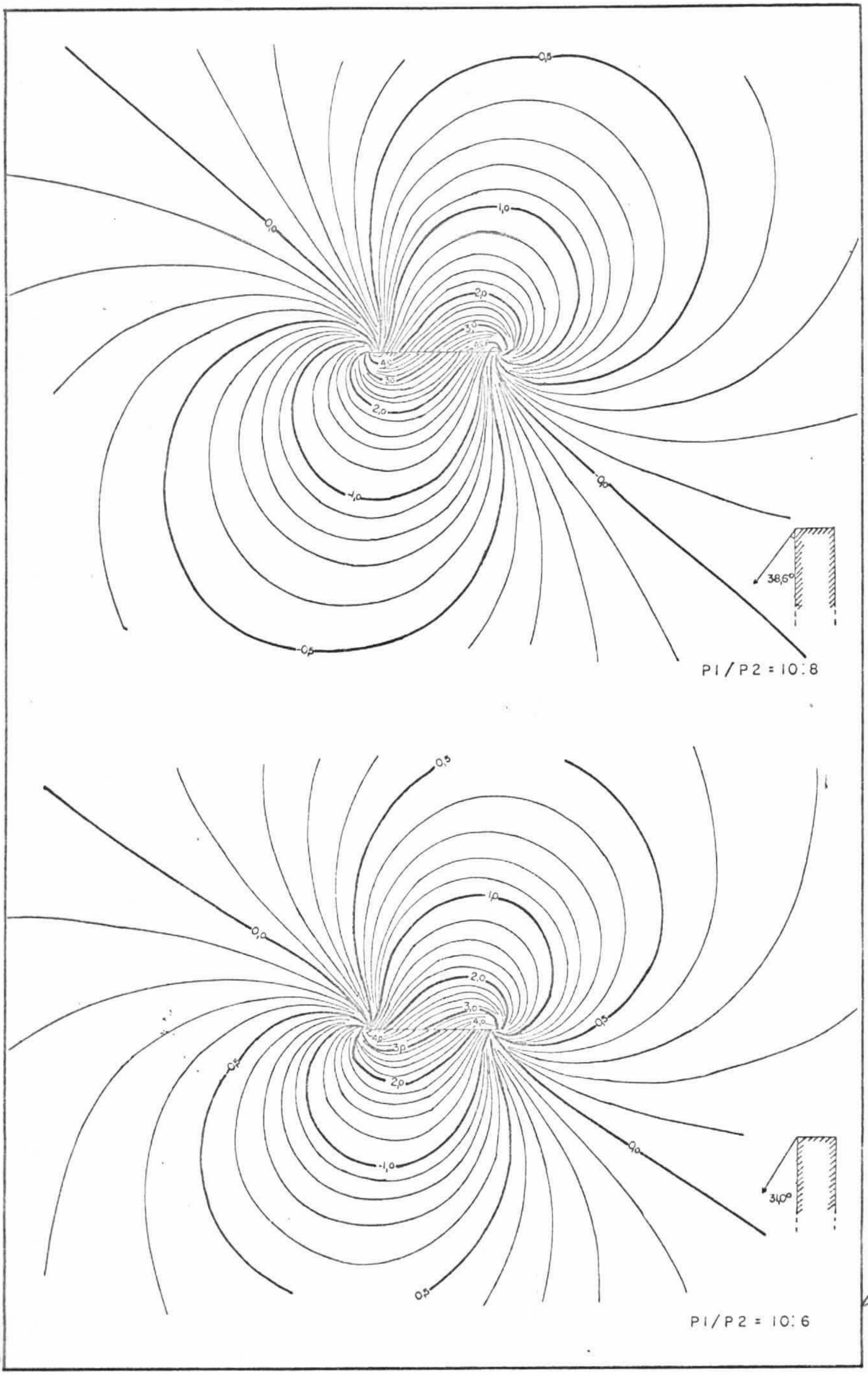

0,0
0,5
1,0
2,0
3,0
-2,0
-1,0
-0,5
0,0
78,7°
P1/P2 = 2:10
0,0
0,5
-0,5
1,0
2,0
3,0
-2,0
-1,0
-0,5
0,0
68,2°
P1/P2 = 4:10

CPRM

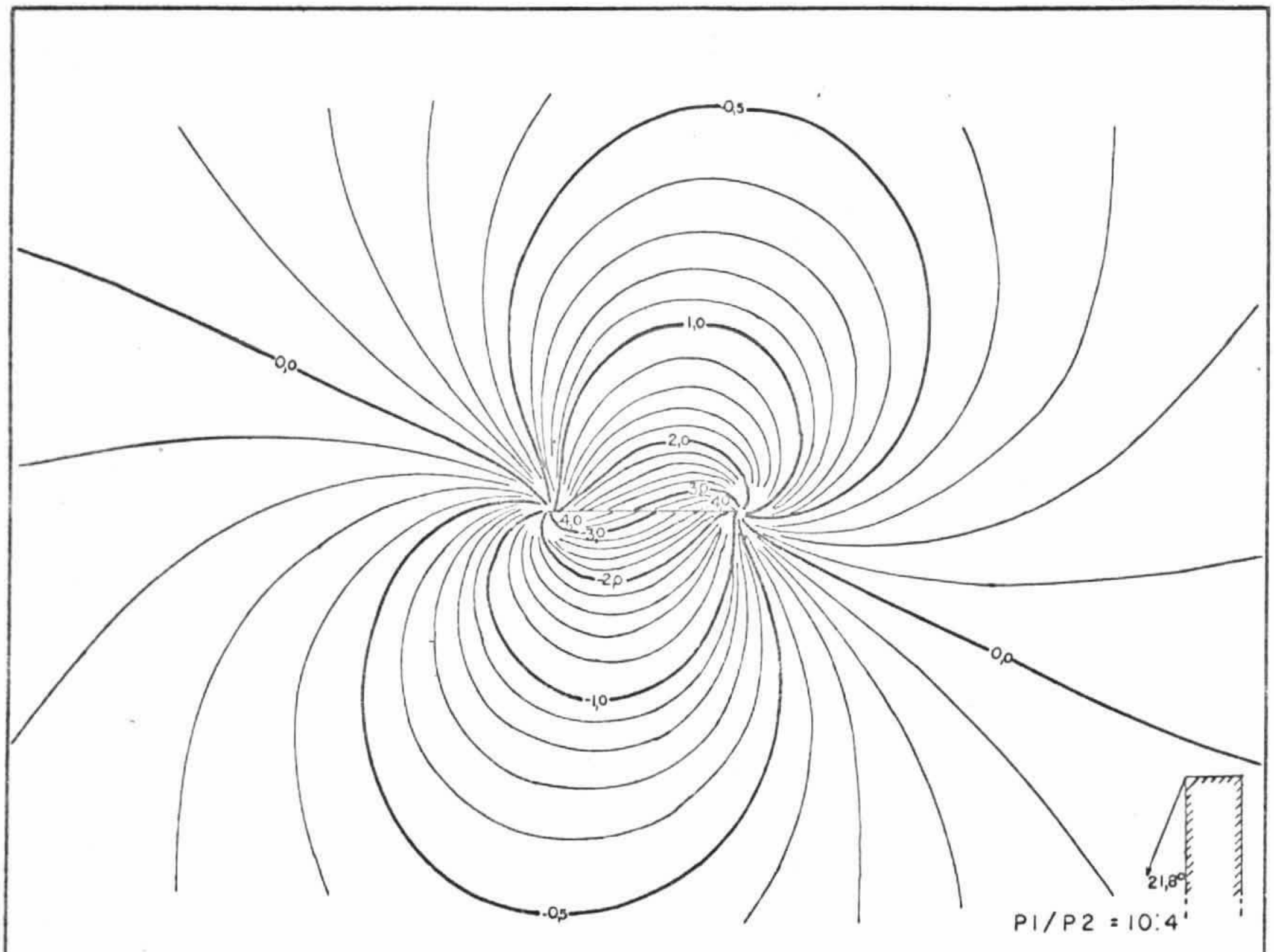

0,5
0,0
1,0
0,5
2,0
3,0
4,0
-2,0
0,5
-1,0
0,0
-0,5
59,0°
P1/P2 = 6:10

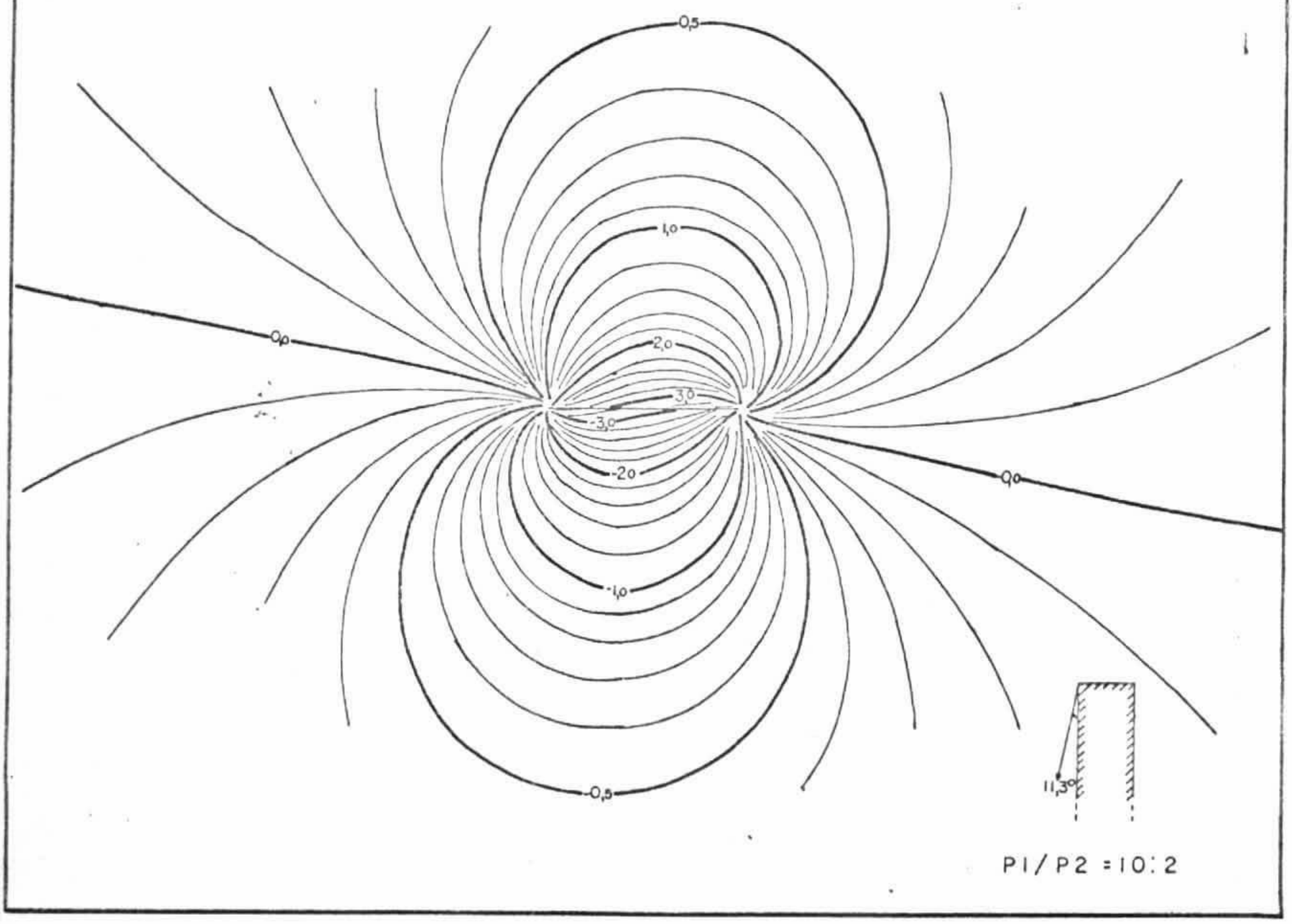

0,5
1,0
0,0
2,0
3,0
4,0
-4,0
-3,0
-2,0
-1,0
0,0
0,5
48,0°
P1/P2 = 9:10

CPRM



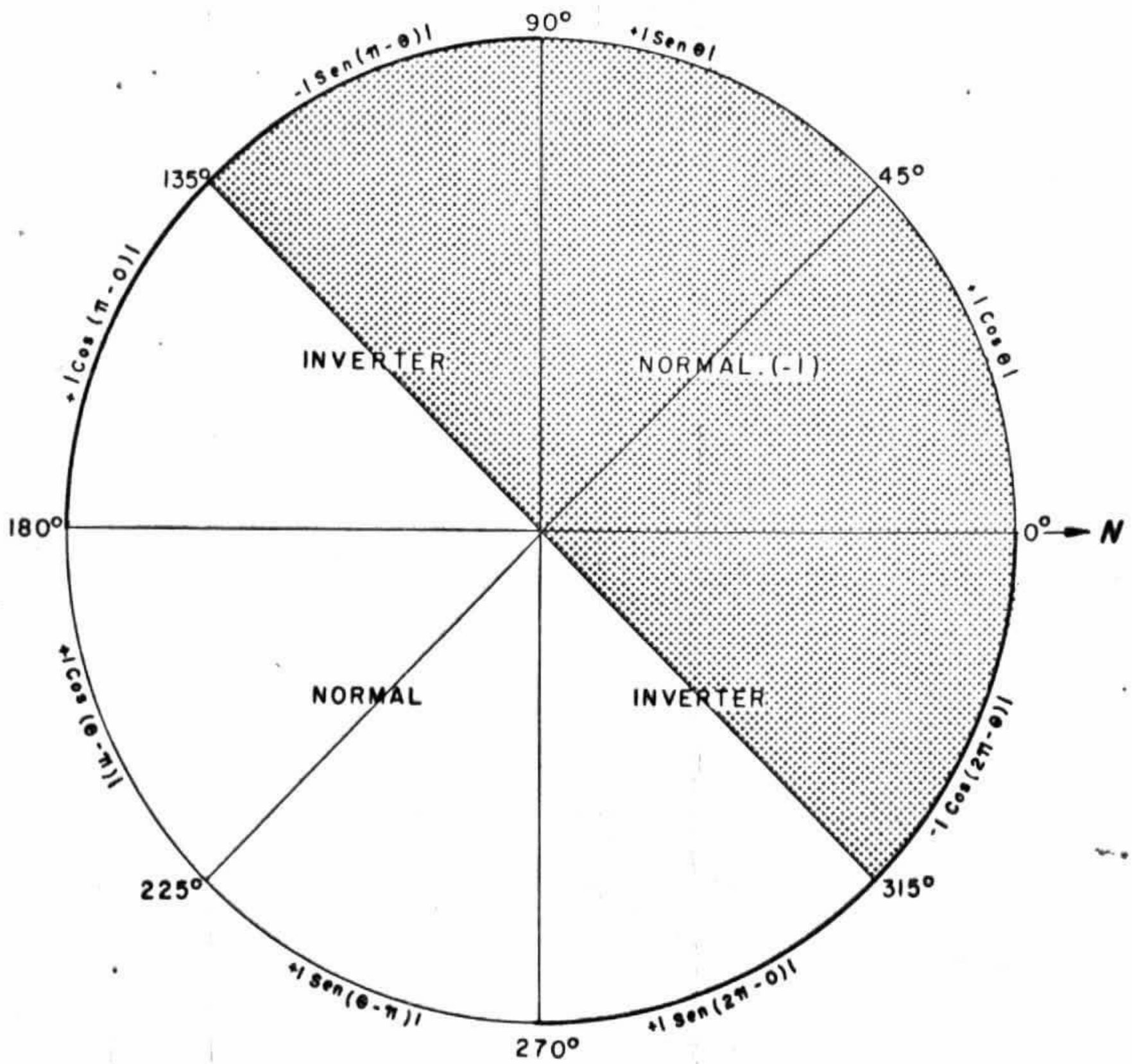
CPRM


0,5
1,0
0,0
2,0
3,0
4,0
-4,0
-3,0
-2,0
-1,0
-0,5
21,8°
P1/P2 = 10:4


0,5
1,0
0,0
2,0
3,0
-3,0
-2,0
-1,0
-0,5
11,3°
P1/P2 = 10:2

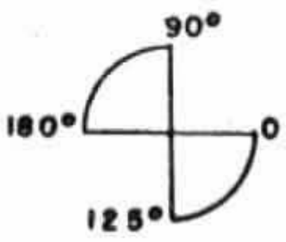
CPRM

CORREÇÕES AOS ÁBACOS PARA PLACA ESPESSA (PRANCHAS 19 A 23)



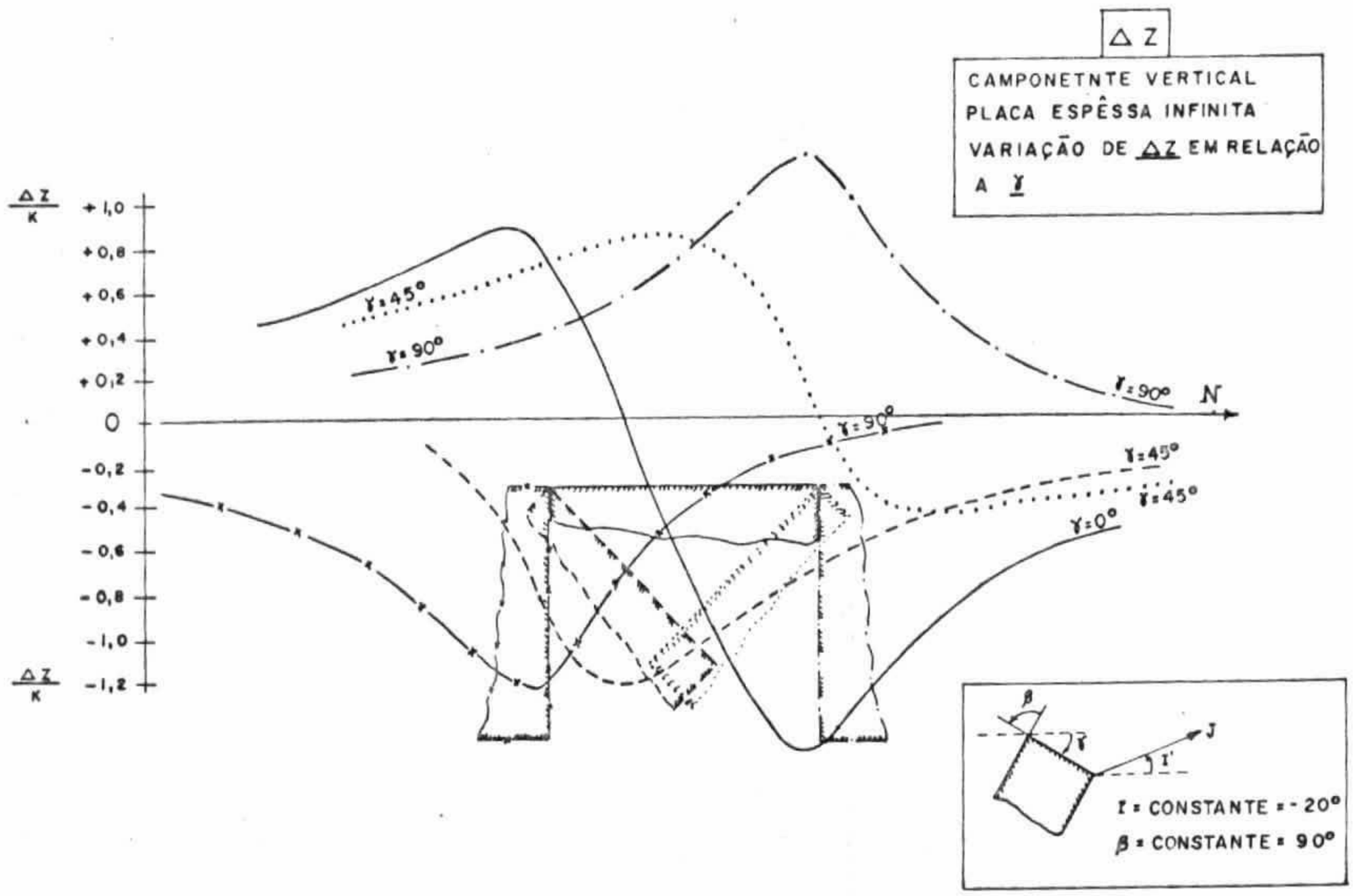
CÍRCULO DE θ

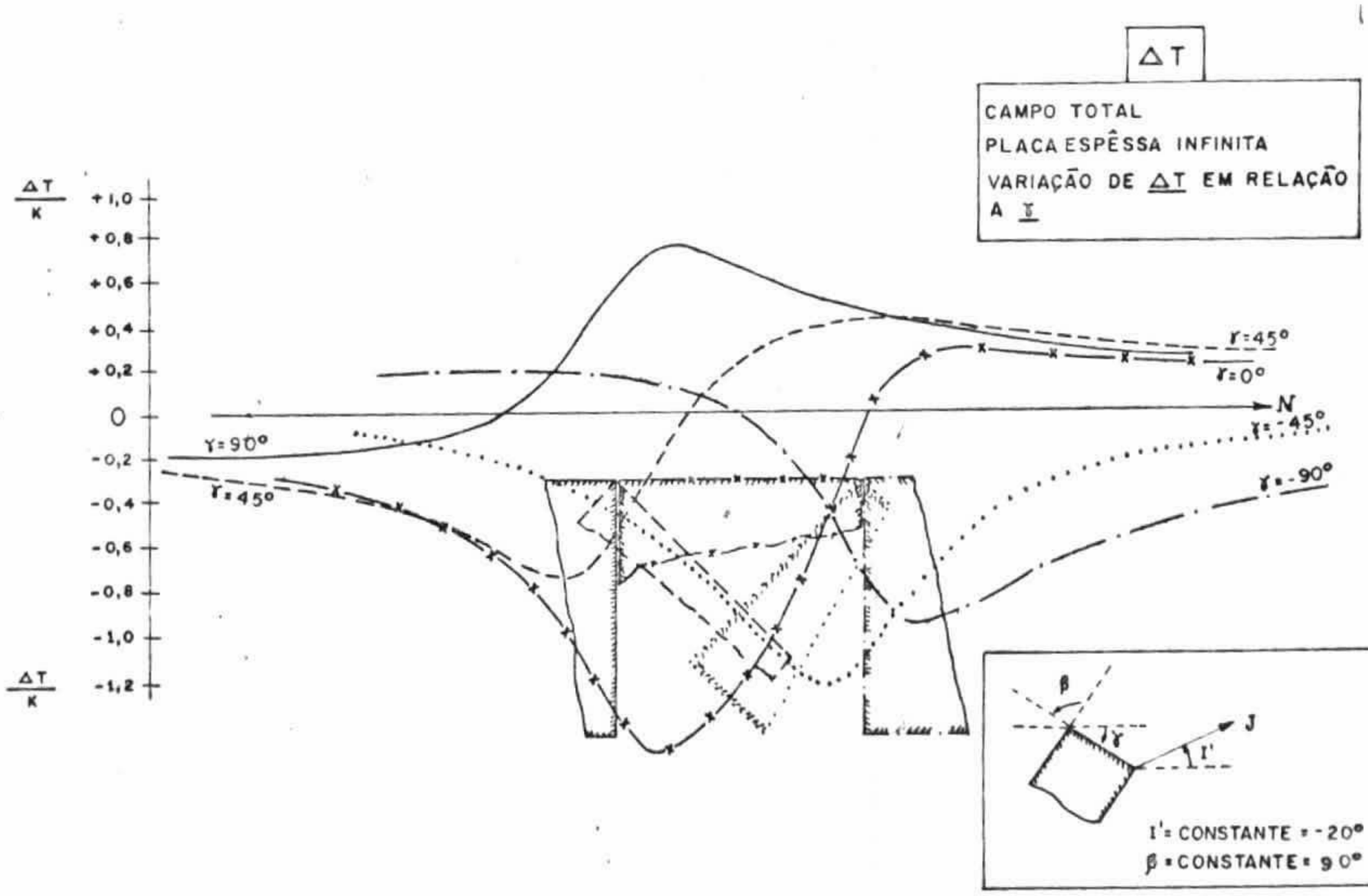
NESTES QUADRANTES: TROCAR OS SINAIS DOS ÁBACOS



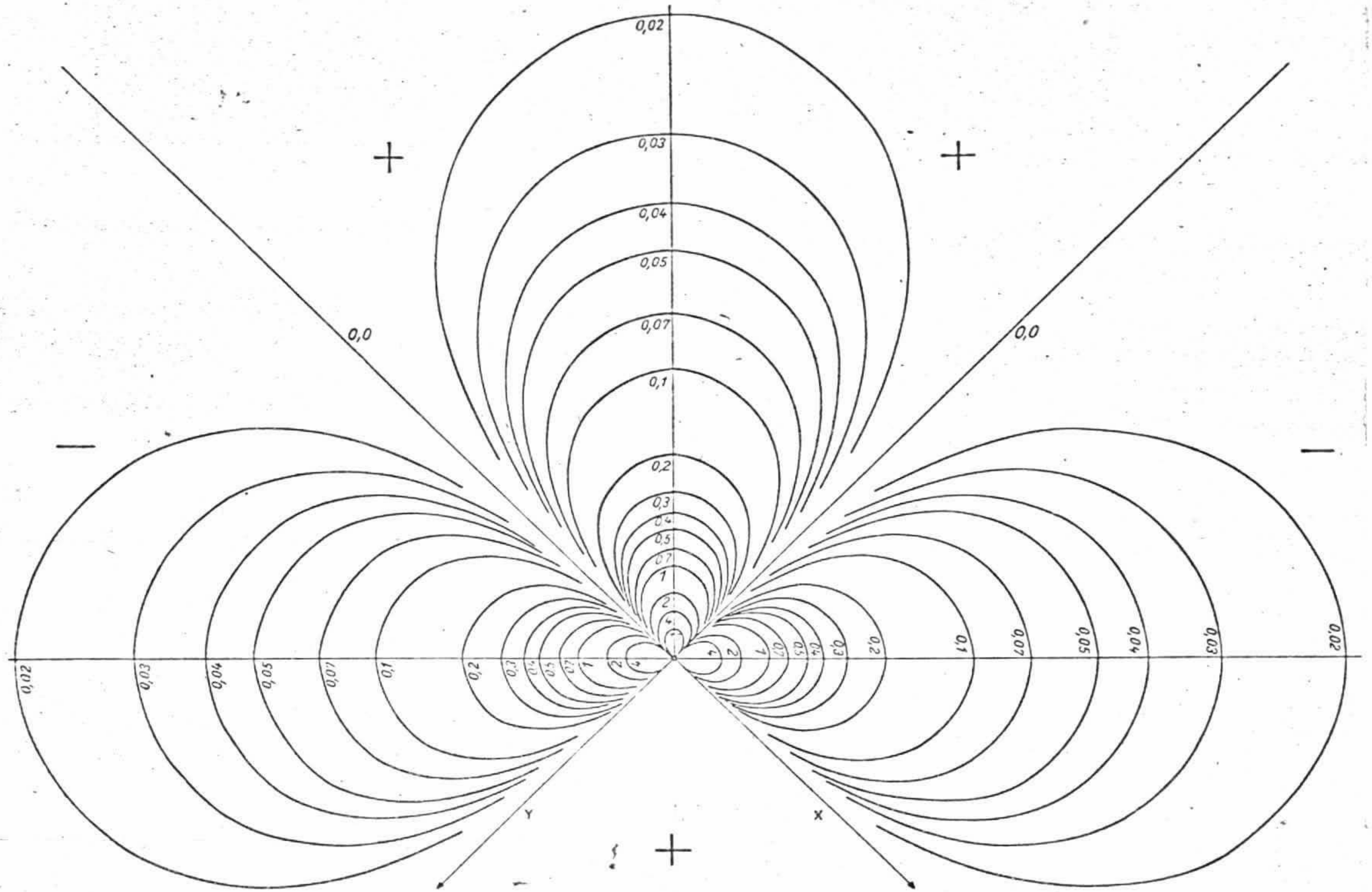
NESTES QUADRANTES: INVERTER OS ÁBACOS (USAR AS COSTAS DO PAPEL

CPRM





PRANCHA- 25

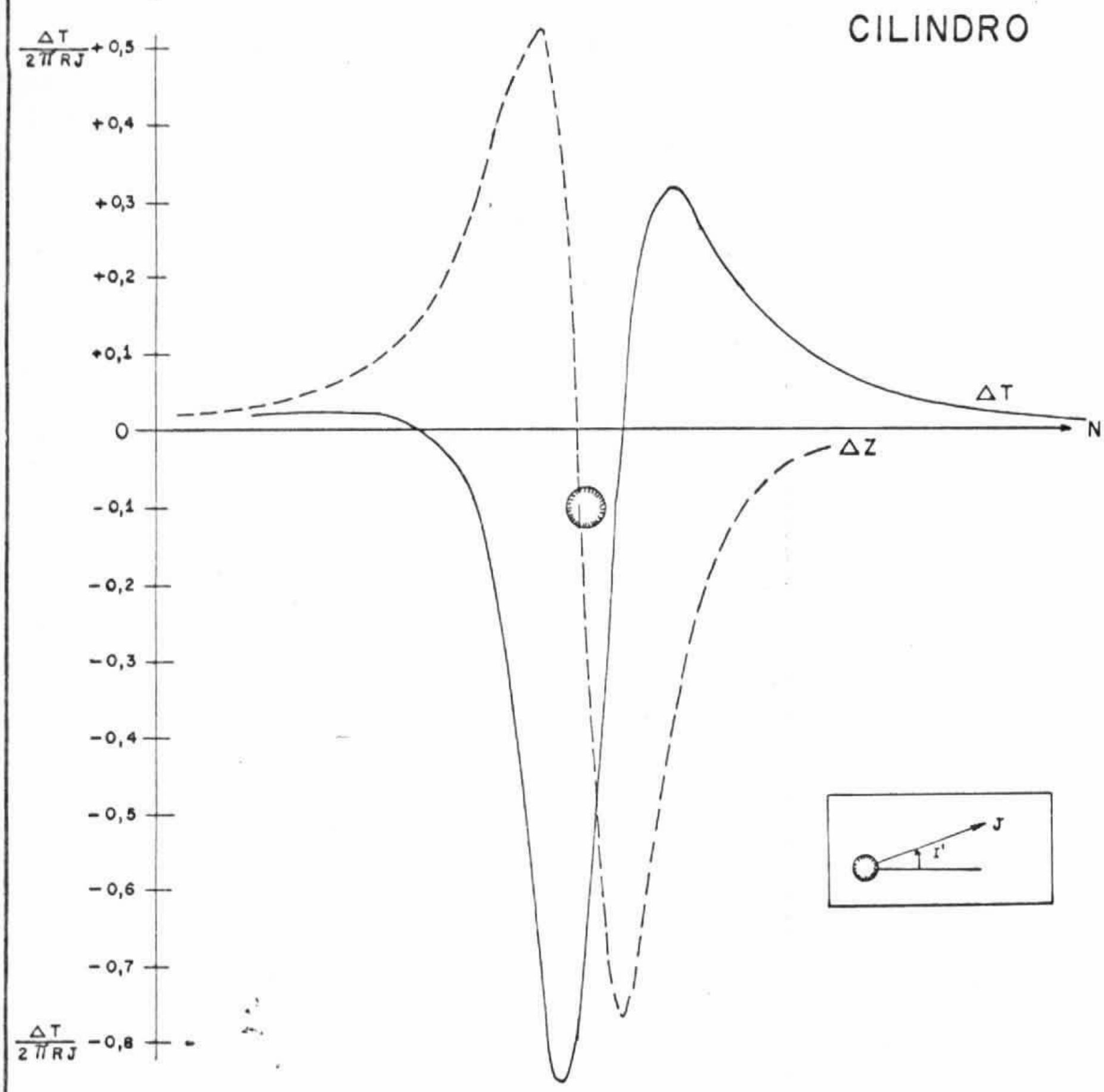


ÁBACO DO CILINDRO HORIZONTAL

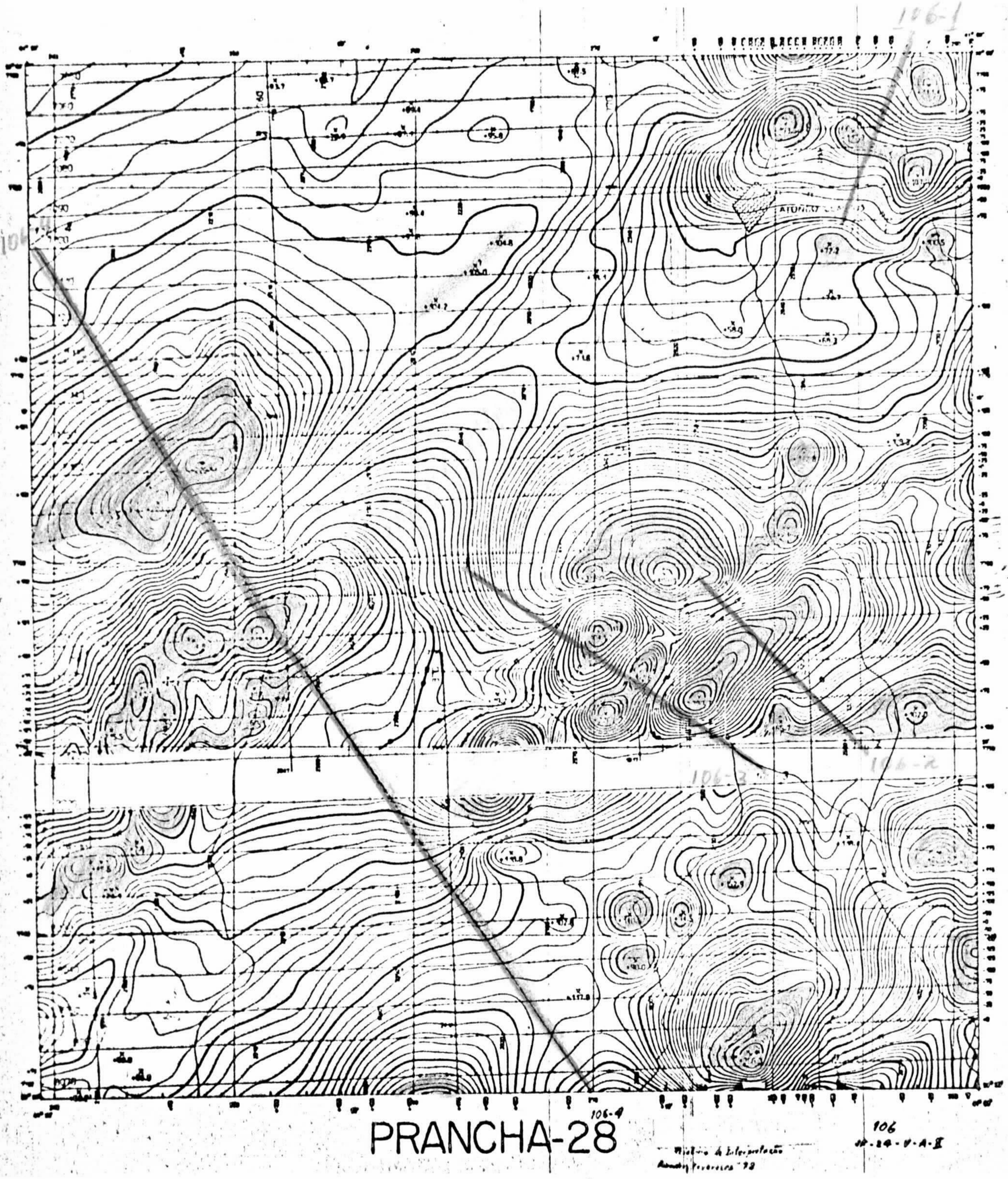
PRANCHA - 26

CPRM

CPRM



CPRM

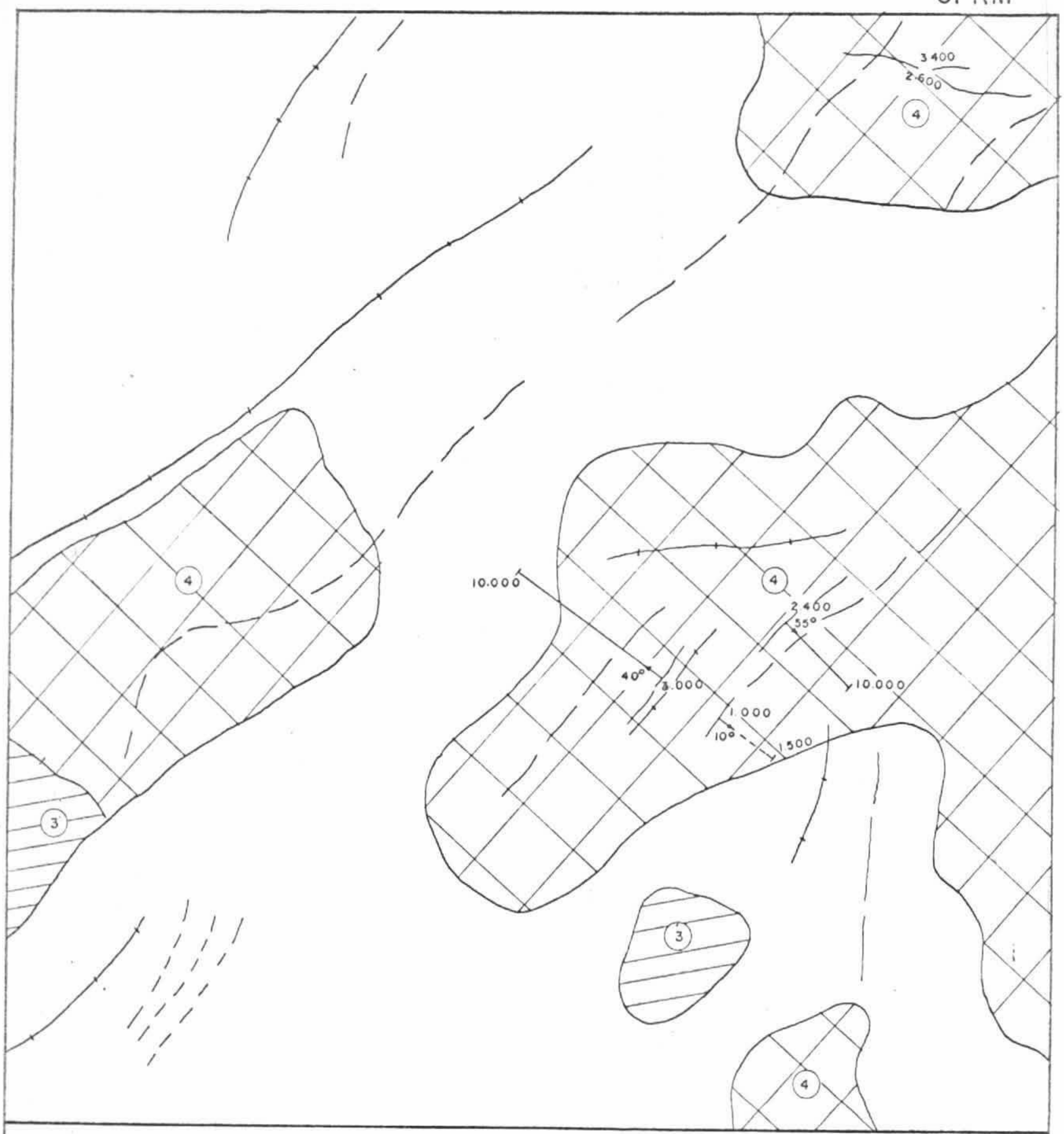


PRANCHA-28

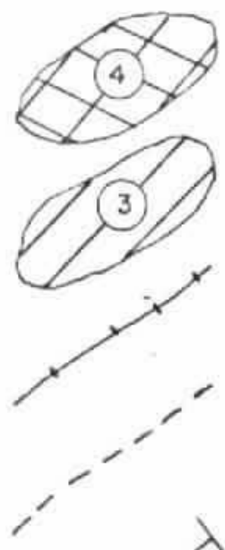
Mod. 002

NE 7530.0210.0343

CPRM



LEGENDA



ANOMALIAS DE 200 - 500 γ

ANOMALIAS DE 50 - 200 γ

ALINHAMENTO DE MÁXIMOS

ALINHAMENTO DE MÍNIMOS

PLACA { PROFUNDIDADE: FACE SUPERIOR - 1000 m
FACE INFERIOR - 3000 m
DIREÇÃO E MERGULHO - SW - NE - 30°S

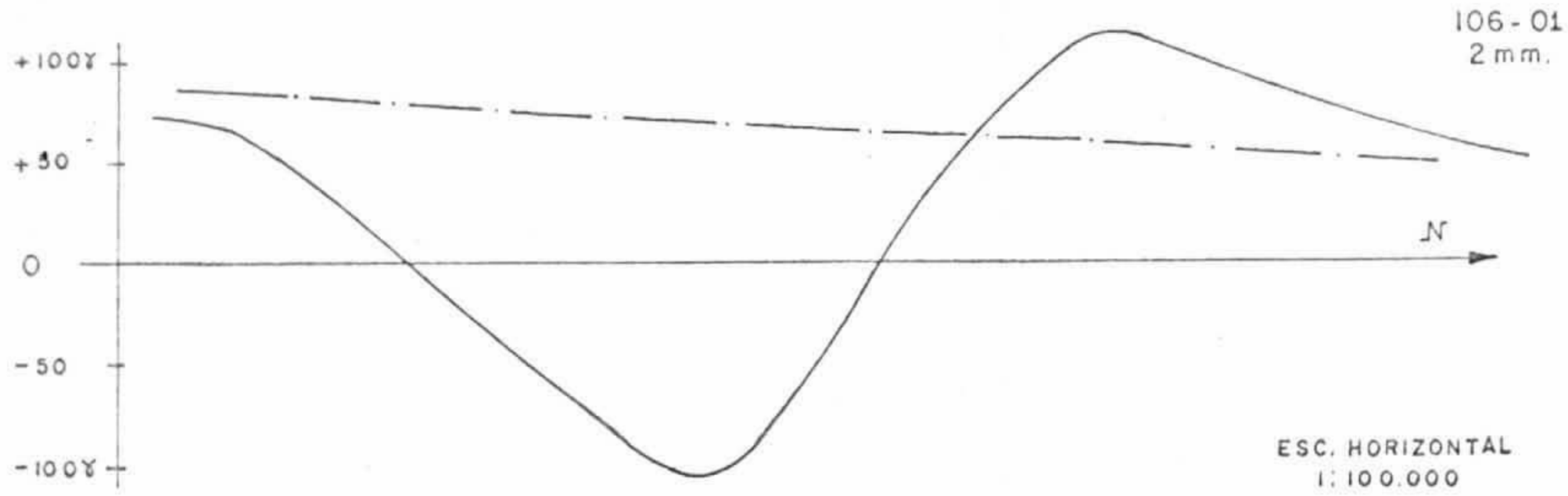
ESCALA

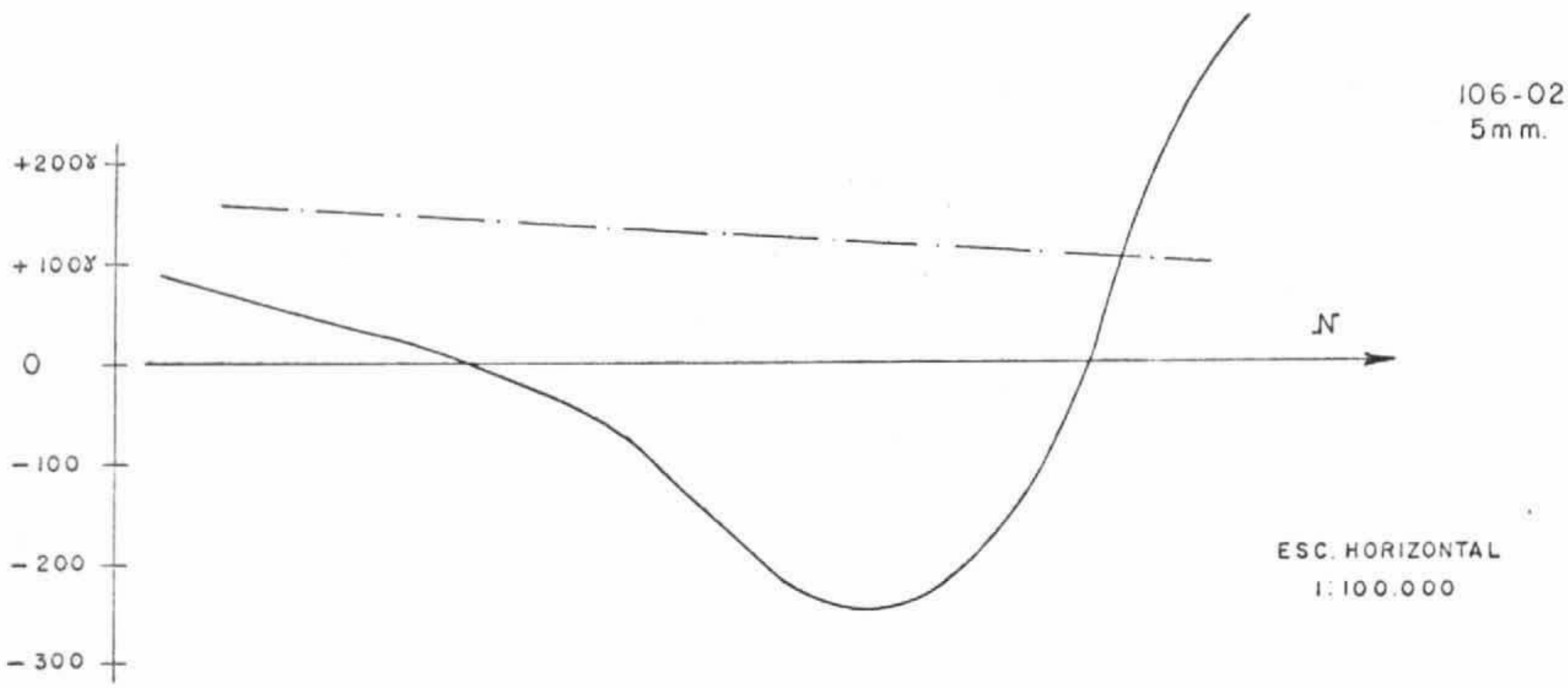
0 5 10 Km

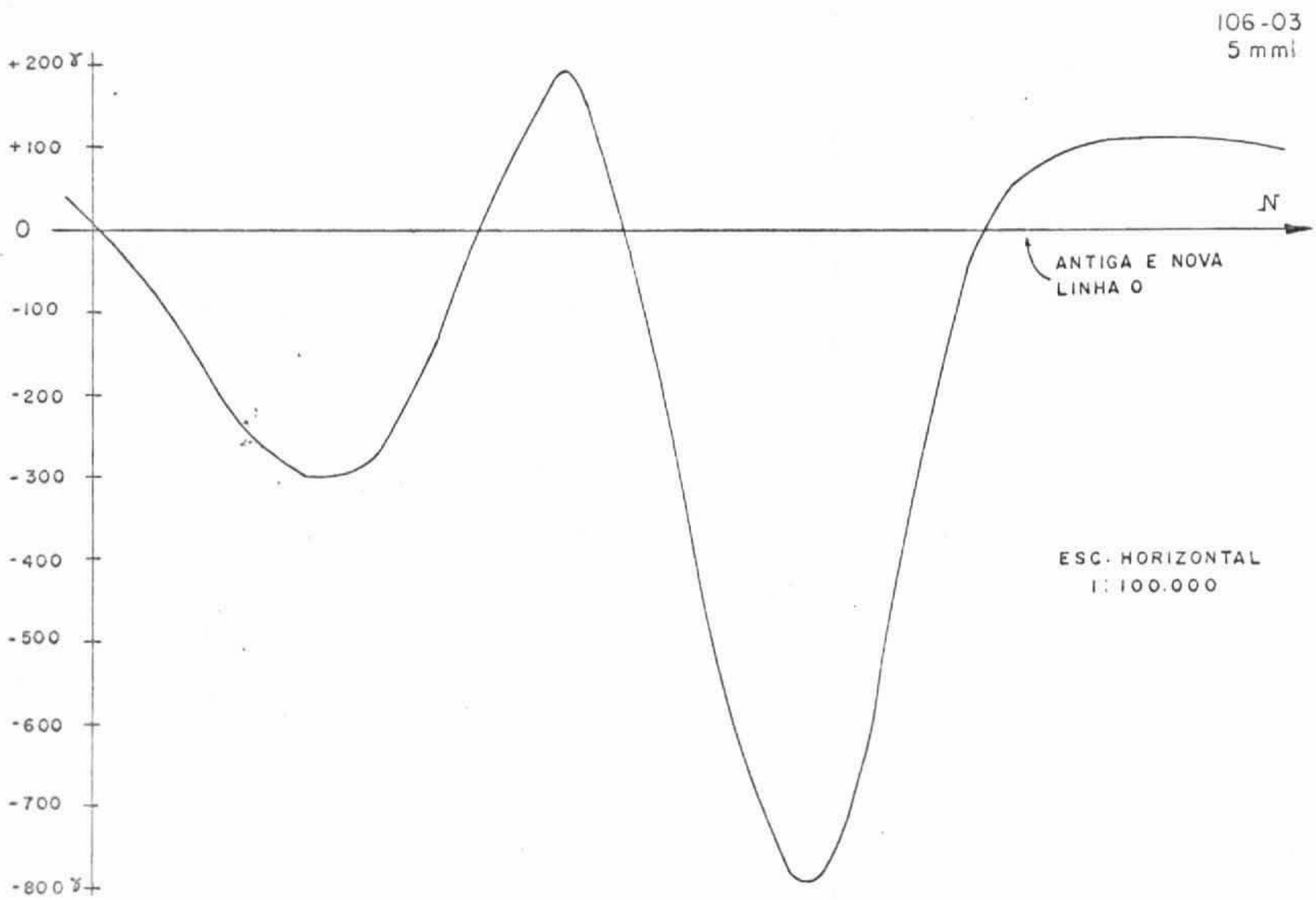
FOLHA - 106

PRANCHA - 29

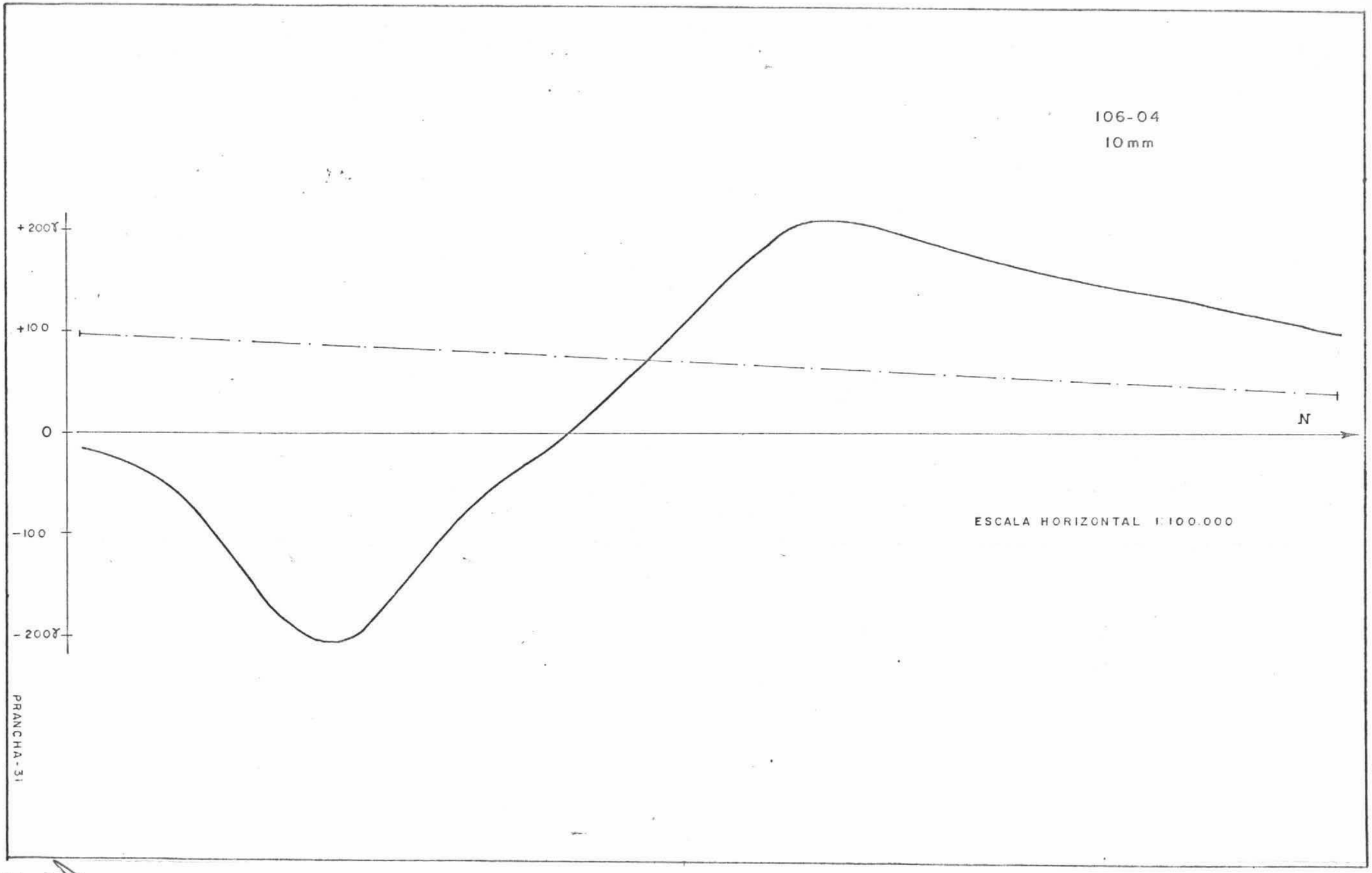
CPRM





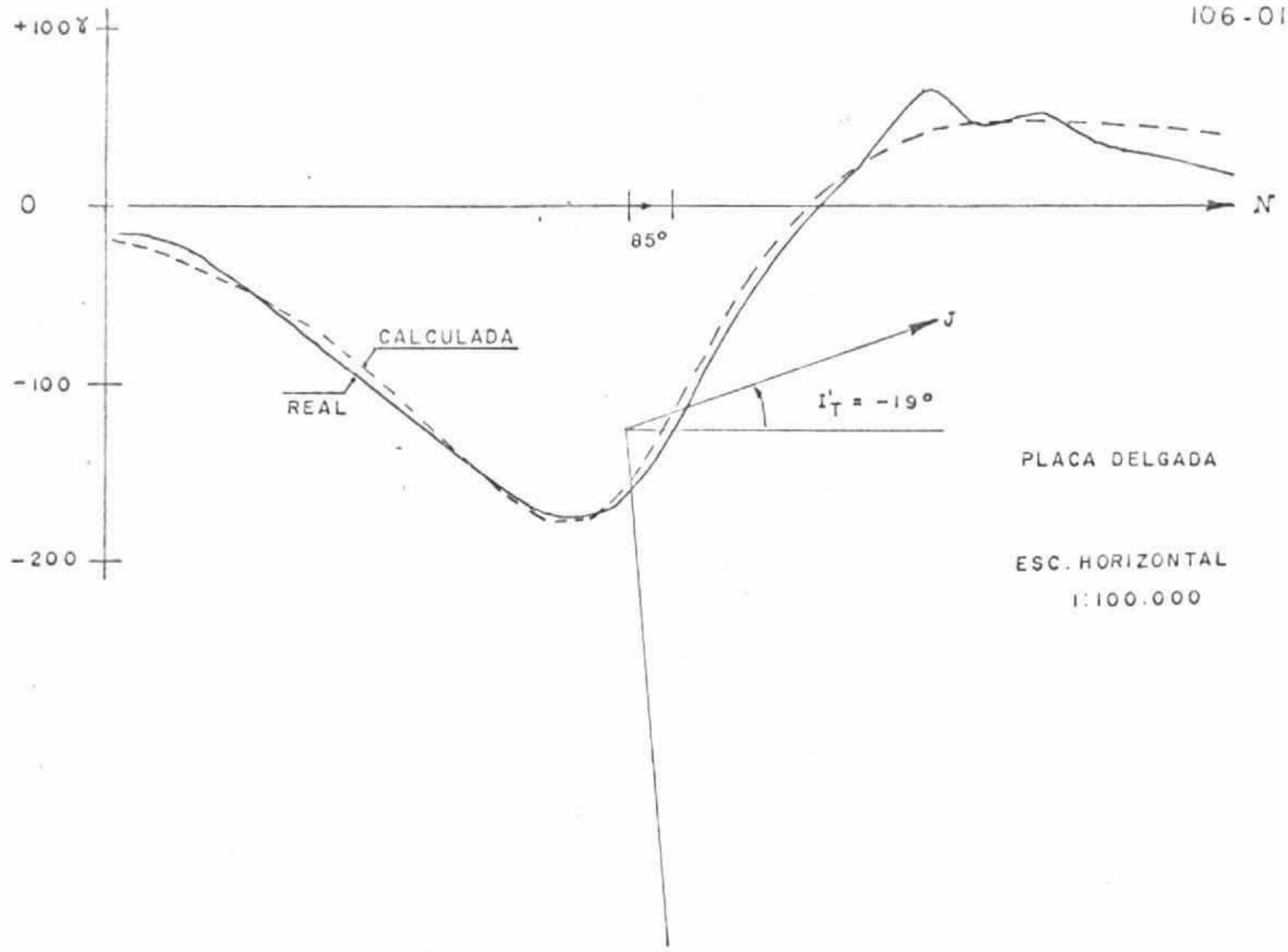


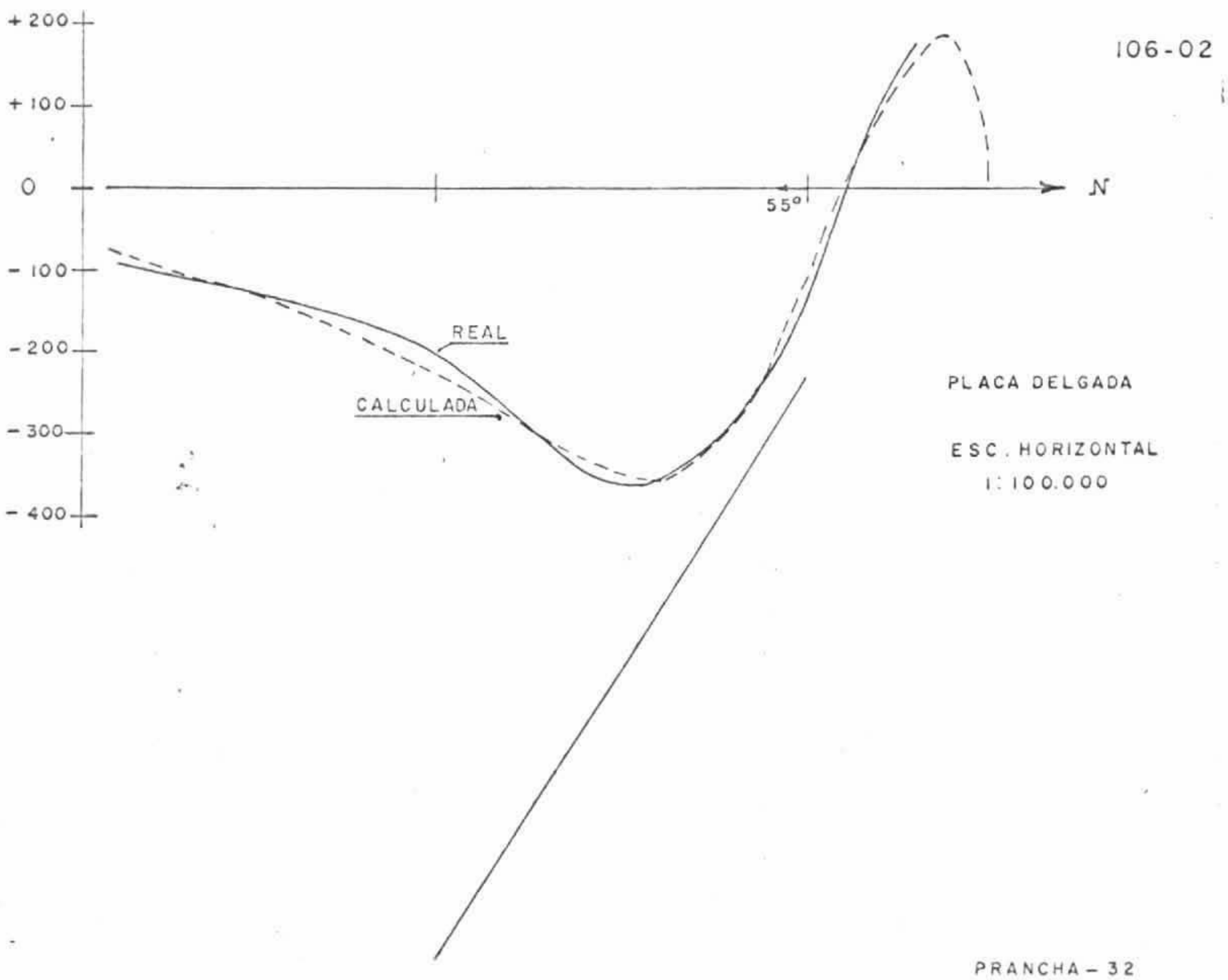
PRANCHA-30


106-04
10mm
+200γ
+100
0
-100
-200γ
N
ESCALA HORIZONTAL 1:100.000
PRANCHA-31

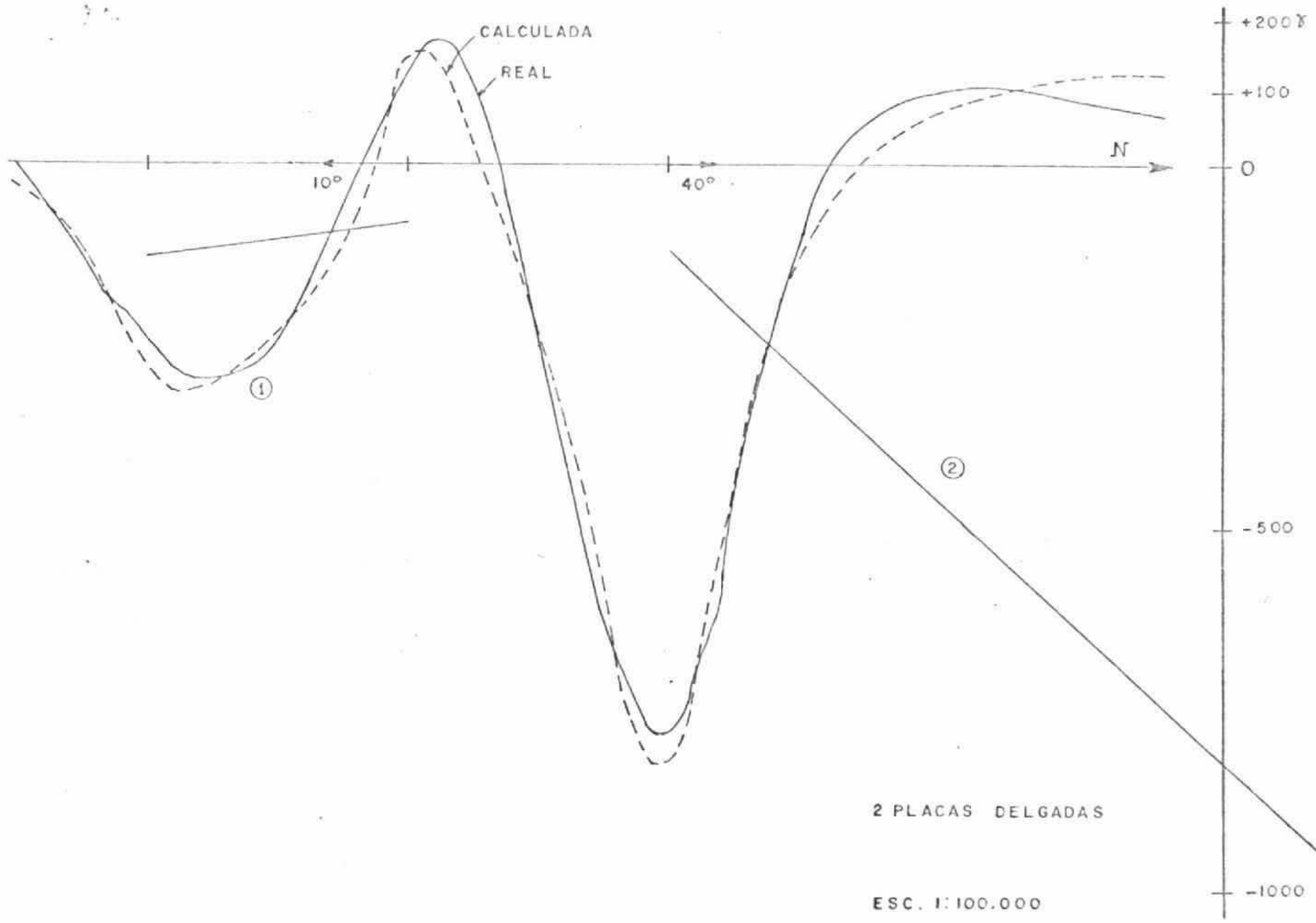
CPRM

CPRM


106-01
+100γ
0
-100
-200
N
85°
J
CALCULADA
REAL
$I'_T = -19°$
PLACA DELGADA
ESC. HORIZONTAL
1:100.000


106-02
+200
+100
0
-100
-200
-300
-400
N
55°
REAL
CALCULADA
PLACA DELGADA
ESC. HORIZONTAL
1:100.000

106-03



2 PLACAS DELGADAS

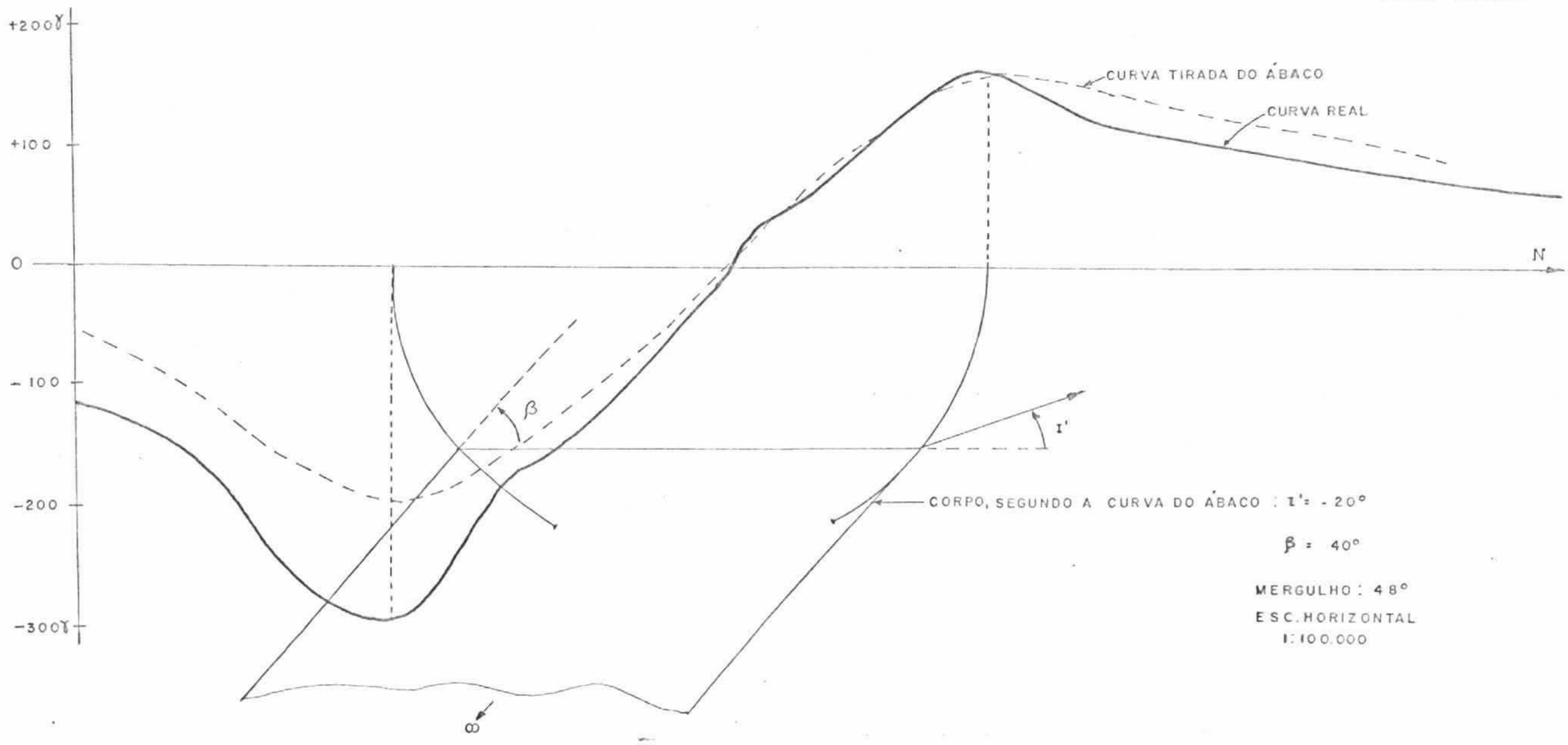
ESC. 1:100.000

PRANCHA-33

CPRM

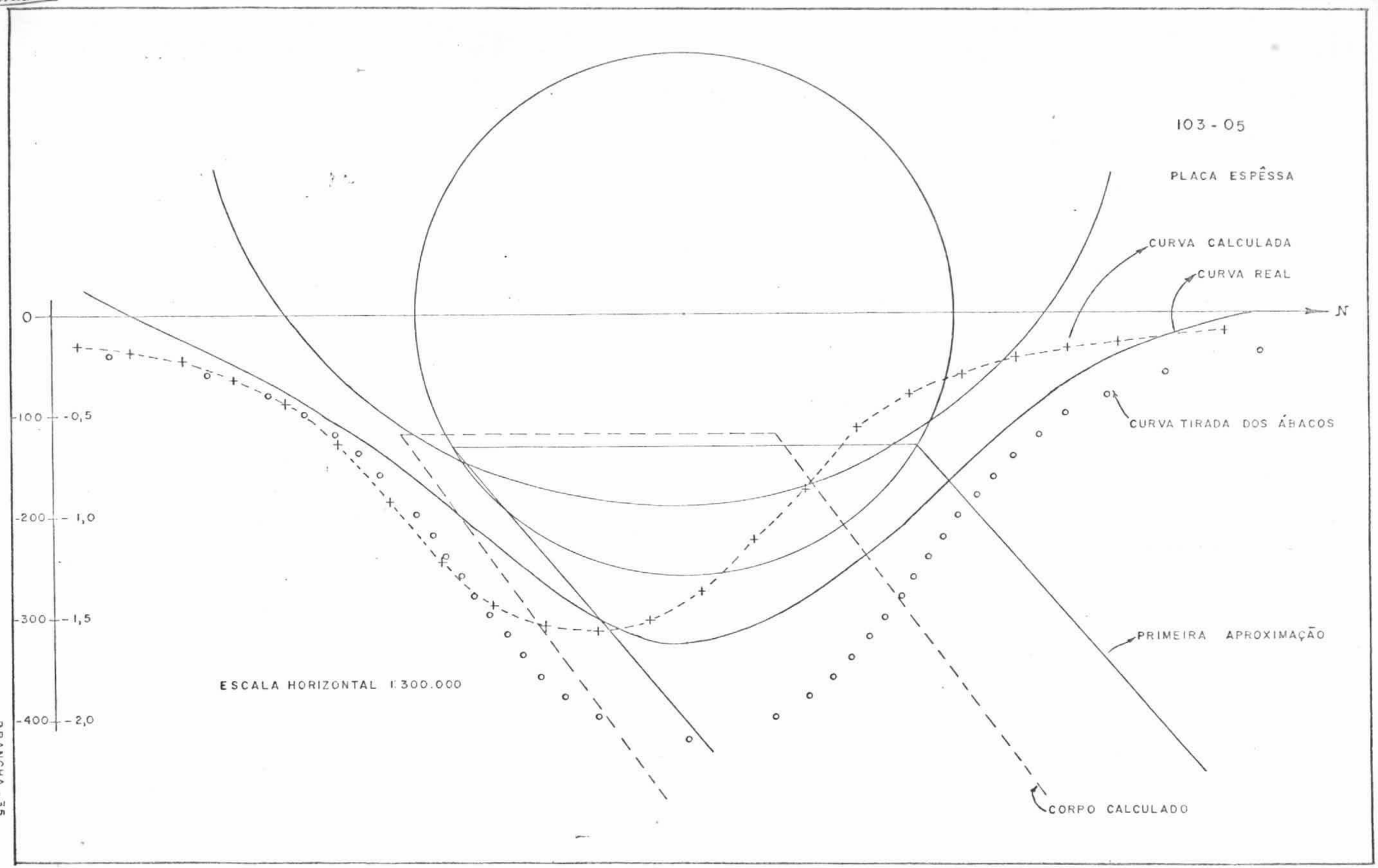
106-04

PLACA ESPÊSSA



PRANCHA - 34

CPRM



PRANCHA - 35

CPRM