



澳門特別行政區政府  
Governo da Região Administrativa Especial de Macau  
地圖繪製暨地籍局  
Direcção dos Serviços de Cartografia e Cadastro

## Descrição do Datum Geodésico da Região Administrativa Especial de Macau

### 1. Introdução

Acompanhando a alteração social e o avanço de tecnologia e ciência, as tecnologias de recepção do sistema de posicionamento global (GPS) também têm sido desenvolvidas para o uso cívico, e no ponto de vista de topografia de solo, a topografia de GPS funciona-se convenientemente e em qualquer tempo e horas, com alta precisão e flexibilidade de respectivas áreas topográficas, sem necessidade de visibilidade entre pontos topográficos, o respectivo papel, nomeadamente no âmbito de topografia e cartografia sendo muito importante. Nos últimos anos, como a metodologia de levantamento da rede plana de controlo, a tradicional triangulação tem sido substituída gradualmente por GPS, e conforme o desenvolvimento incessante do sistema GNSS (como GLONASS, Galileo, Compass), as tecnologias de posicionamento também entrando numa nova era.

Ainda assim, as coordenadas usadas, quer em topografia, quer em cartografia, na rede da RAE de Macau, são diferentes às coordenadas do Sistema Geodésico Mundial 84 (WGS84) usadas pelo levantamento de satélite GPS, e o sistema de coordenadas de Macau ligou em 2008 ao Enquadramento Referencial Internacional Terrestre (ITRF2005), torna-se necessário o esclarecimento das relações entre vários sistemas de coordenadas. E este teste apresentará todos os padrões fundamentais e sistema de coordenadas usados em Macau para serem aproveitados pelo público.

### 2. O fundo histórico do datum geodésico da RAE de Macau

Os pontos de triangulação de Macau implantaram-se em 1907, naquela altura, foram efectuados levantamentos a cinco pontos triangulares, considerando a linha fundamental, uma linha ligada por dois pontos situados na Avenida do Conselheiro Borja, as coordenadas dum ponto no qual foram definidas como (0, 0). E nos anos de 1919 a 1920, a realização, pela primeira vez, de triangulação nos sessenta pontos situados respectivamente em Macau, Taipa e Coloane, e em 1943, actualizados os pontos originais da rede de coordenadas, as direcções oriental e nortista mudaram paralelamente a 20.000,00 metros, definiu-se a projecção cartográfica do sistema de coordenadas de Macau. E através de observações astronómicas levadas em 1912 e 1965, adquiriu as coordenadas astronómicas da projecção dos pontos originais de Macau. Nas décadas 40 e 80, foram efectuados vários



澳門特別行政區政府  
Governo da Região Administrativa Especial de Macau  
地圖繪製暨地籍局  
Direcção dos Serviços de Cartografia e Cadastro

levantamentos de triangulação de controlo em Macau, estabeleceu uma rede geodésica de controlo de Macau que se abrangendo 14 pontos de 1ª ordem e cerca de cento de pontos de 2ª ordem.

E em 1981, foram efectuados, pelo pessoal específico de “512 Specialist Team Royal Engineers (STRE)” e através da tecnologia de GPS, levantamentos nos dois pontos de controlo – Monte da Barra e Coloane Alto, na rede de triangulação da região de Macau, para adquirir os dados de coordenadas do elipsóide referencial WGS72. Registaram-se, globalmente as Estações Doppler de Hong Kong respectivamente em números 31386 e 31397, marcou também os primeiros passos sobre a aplicação da tecnologia GPS em Macau.

Em 1991, o pessoal de “512 Specialist Team Royal Engineers (STRE)”, deslocou novamente a Macau, a fim de efectuar um levantamento GPS, em alta precisão, conjuntamente entre os pontos triangulares de Macau e os pontos de controlo de Hong Kong, e respectivo ajustamento, para estabelecer um padrão fundamental de referência de WGS84. Os pontos de controlo, além do Monte da Barra e Coloane Alto, acrescentaram-se também mais quatro respectivamente nas Península de Macau e Ilhas, sendo em total seis Estações de Doppler que se compõem a primeira rede de controlo GPS na região de Macau.

Em 1994, a DSCC alargou gradualmente esta rede de GPS de Macau até 14 pontos de controlo de 1ª ordem e também alguns pontos de 2ª ordem, e adquirindo um parâmetro de transferência entre a rede de coordenadas local e as coordenadas de WGS84 (existe porém divergência entre o padrão fundamental das coordenadas da Estação Doppler e as actuais verdadeiras coordenadas de WGS84), considerado como os dados fundamentais necessários ao futuro estabelecimento da aplicação de GPS.

Após a entrada do século XXI, e conforme as instalações, no mundo, de estação de observação contínua, a DSCC, a fim de satisfazer as necessidades práticas de Macau, estabeleceu, respectivamente em 2002, 2006 e 2008, três estações de referência de posicionamento por satélite situadas na Fortaleza do Monte de Macau, Coloane Alto da Ilha de Coloane e Taipa Grande da Ilha da Taipa, para recolher, em qualquer tempo e 24 horas por dia, as informações e dados GPS e fornecer os dados de RTK. Em 2008, segundo os dados recolhidos, foram efectuadas, as soluções, conjuntamente com os dados de 10 estações de IGS (International GNSS Service) situadas nas zonas adjacentes de Macau, determinando-se as coordenadas, no enquadramento referencial de ITRF2005, das



澳門特別行政區政府  
Governo da Região Administrativa Especial de Macau  
地圖繪製暨地籍局  
Direcção dos Serviços de Cartografia e Cadastro

3 estações de referência. E em 2009, através de observação GPS, estende-se o ITRF2005 para os pontos de controlo de 1ª ordem de Macau e determinando-se as relações entre o ITRF2005 e o sistema de coordenadas de Macau.

No âmbito do padrão fundamental de altimetria, a altura, quer em mapa topográfica de Macau, quer em altitude terrestre, é o nível médio referencial do mar, definido conforme os dados recolhidos, no período de 40 anos, desde 1925 a 1964, no lugar de verificação da maré em Má Káu Séak, usado até à actualidade. E o registo de dados da maré do ponto de nivelamento sito em Má Káu Séak tinha servido para referência, e em 1984, mudou-se para o registo de dados da maré no outro ponto situado no Porto Interior, e actualmente o ponto primo de nivelamento do sistema de altimetria é situado em frente ao Templo de A-Má.

### 3. Datum geodésico e sistema de coordenadas de Macau

#### 3.1 Rede de Coordenadas da Região Administrativa Especial de Macau

A rede de coordenadas da RAE de Macau é o sistema de projecção de coordenadas, adoptado o Elipsóide de Referência Hayford Internacional de 1924, o método de projecção é a Projecção de Mercator Transversa, cujo parâmetro é o seguinte:

|   |   |
|---|---|
| Elipsóide de Referência                                   | International Hayford<br>a (raio do eixo maior)=6378388.0 m,<br>f (achatamento)=1/297.0 |
| Método de projecção                                       | Projecção de Mercator transversa  |
| Falsa origem das coordenadas em distância à Meridiana     | 20000.00 m  |
| Falsa origem das coordenadas em distância à Perpendicular | 20000.00 m  |
| Latitude da origem  | 22° 12' 44.6300" N  |
| Longitude da origem                                       | 113° 32' 11.2900" E   |
| Factor de escala  | 1   |

Quadro I

#### 3.2 Sistema Geodésico Mundial (WGS 84)

Sendo WGS, um sistema de coordenadas mundial relativo ao centro e fixação da Terra, elaborado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, na década 80, tendo desenvolvido de WGS60, WGS66, WGS74 para o actual WGS84, cujo ponto original é definido como o centro da massa da Terra, o eixo Z do sistema de coordenadas vertical espacial orienta ao pólo (CTP) definido por IERS (International Earth Rotation



澳門特別行政區政府  
Governho da Região Administrativa Especial de Macau  
地圖繪製暨地籍局  
Direcção dos Serviços de Cartografia e Cadastro

Service). E o eixo X orienta à junção da Meridiana do 0 grau e do Equador CTP definida por IERS, o eixo Y e eixos Z e X compõem um sistema de coordenadas da mão direita, cujo parâmetro fundamental do elipsóide é:

|                        |                 |
|------------------------|-----------------|
| Raio do eixo maior $a$ | 6378137.0 m     |
| Achatamento $f$        | 1/298.257223563 |

Quadro II

### 3.3 Enquadramento referencial internacional terrestre (ITRF2005)

O ITRF (Enquadramento Internacional Terrestre Referencial) é fornecido por IERS, considerado um quadro com a precisão e segurança altíssimas, composto por várias tecnologias de observação espacial, como um enquadramento referencial terrestre activo levado por resultado sintético dos diversos centros de análise de dados. O respectivo estabelecimento é para satisfazer o estudo regional e global da variação da Terra, como as variações do nível marítimo, aprofundamento regional, movimento da crosta terrestre, a deformação das Placas, etc. A diferença entre a versão de ITRF 2005 do ano 2006 com a versão WGS84 (G1150) é apenas de 1 a 2 cm, considerada como igual<sup>1</sup>, o parâmetro do elipsóide GRS1980, adoptado por ITRF é:

|                        |                 |
|------------------------|-----------------|
| Raio do eixo maior $a$ | 6378137.0 m     |
| Achatamento $f$        | 1/298.257222101 |

Quadro III

## 4. Transferência de coordenadas

A rede de coordenadas da Região Administrativa Especial de Macau é o sistema de coordenadas planos e verticais, e o de WGS84/ITRF2005 é o sistema de coordenadas do elipsóide geodésico, cuja ligação depende da transferência de coordenadas e projecção cartográfica. Em Macau, tendo usado um método de transferência tridimensional a partir de 1994, cujo processo de transferência é o seguinte:

<sup>1</sup> **US National Geospatial Intelligence Agency (NGA)**, *Addendum to NIMA TR 8350.2: Implementation of the World Geodetic System 1984 (WGS 84) Reference Frame G1150*, 2003.





澳門特別行政區政府  
Governo da Região Administrativa Especial de Macau  
地圖繪製暨地籍局  
Direcção dos Serviços de Cartografia e Cadastro

pela errada de altura geodésica, apenas na aplicação prática, inconvenientemente é necessário o procedimento separado entre as partes do plano e de altura, pelo qual, esta DSCC fornece simultaneamente o parâmetro de transferência tridimensional do ITRF2005 e a rede de coordenadas de Macau (anexo II), para servir de opção pelos utentes conforme as próprias necessidades.

#### 5. A transferência de altitude

O sistema de altitude (cota) adoptado em Macau é a altura do nível médio do mar, cujo valor ( $H_L$ ) é a distância dum ponto terrestre ao nível médio do mar, e a altura do elipsóide de GNSS ( $H_{WGS}$ ) é a distância de um ponto terrestre, em direcção de vector normal do elipsóide referencial, ao elipsóide referencial, existe uma relação de valor de diferença entre eles:  $H_L = H_{WGS} - \text{diff}$ . A variação deste valor de diferença é irregular e tem a ver com a própria localidade, e pode ser elaborado um modelo de valor de diferença através de meio matemático. Isto é, através de cotas de nivelamento e cotas de WGS84 dos pontos sobrepostos e observados bem dispostos em Macau, e a selecção de modelo de polinomial de cota elaborada para obter um parâmetro elaborado (anexo III), conforme a altura do elipsóide do ponto de controlo obtida pela observação de GNSS, e o parâmetro conhecido, pode ser adquirido o valor de diferença de cota, e segundo a relação supracitada pode obter a cota de nivelamento.



澳門特別行政區政府  
 Governo da Região Administrativa Especial de Macau  
 地圖繪製暨地籍局  
 Direcção dos Serviços de Cartografia e Cadastro

6. Exemplo de transferência de coordenadas;

| <u>Transferência de duas dimensões</u>  |                         | 1                  | 2                  | 3                  |
|---|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| ITRF2005<br>Coordenadas<br>Geodésicas   | Latitude                | 22° 11' 40.000" N  | 22° 09' 30.000" N  | 22° 07' 20.000" N  |
|   | Longitude               | 113° 32' 50.000" E | 113° 32' 50.000" E | 113° 34' 50.000" E |
|   | Altura do elipsóide (m) | 10.00              | 20.00              | 30.0000            |
| ITRF2005<br>Coordenadas de<br>projecção | Coordenada E (m)        | 21108.83           | 21109.12           | 24548.52           |
|   | Coordenada N (m)        | 18012.07           | 14013.39           | 10015.35           |
| Rede de<br>coordenadas de<br>Macau      | Coordenada E (m)        | 20800.08           | 20802.10           | 24243.21           |
|   | Coordenada N (m)        | 18145.04           | 14146.39           | 10149.87           |

| <u>Transferência de três dimensões</u>         |                                     | 1                  | 2                  | 3                  |
|--|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| ITRF2005<br>Coordenadas<br>Geodésicas          | Latitude                            | 22° 11' 40.000" N  | 22° 09' 30.000" N  | 22° 07' 20.000" N  |
|  | Longitude                           | 113° 32' 50.000" E | 113° 32' 50.000" E | 113° 34' 50.000" E |
|  | Altura do elipsóide (m)             | 10.00              | 20.00              | 30.00              |
| ITRF2005<br>Coordenadas<br>Verticais           | Coordenada X (m)                    | -2360431.93        | -2361038.62        | -2364796.74        |
|  | Coordenada Y (m)                    | 5416409.60         | 5417801.75         | 5417816.89         |
|  | Coordenada Z (m)                    | 2394366.28         | 2390667.16         | 2386967.10         |
| Hayford<br>Coordenadas<br>Verticais            | Coordenada X (m)                    | -2360227.87        | -2360836.14        | -2364595.60        |
|  | Coordenada Y (m)                    | 5416714.29         | 5418105.72         | 5418119.66         |
|  | Coordenada Z (m)                    | 2394521.78         | 2390822.68         | 2387124.02         |
| Hayford<br>Coordenadas<br>Geodésica<br>Hayford | Latitude                            | 22° 11' 44.325" N  | 22° 09' 34.327" N  | 22° 07' 24.381" N  |
|  | Longitude                           | 113° 32' 39.220" E | 113° 32' 39.286" E | 113° 34' 39.342" E |
|  | Altura do elipsóide (m)             | 13.89              | 23.79              | 33.54              |
| Rede de<br>coordenadas de<br>Macau             | Coordenada E (m)                    | 20800.08           | 20802.10           | 24243.21           |
|  | Coordenada N (m)                    | 18145.04           | 14146.39           | 10149.87           |
|  | Altura do nível médio do<br>mar (m) | 13.89              | 23.79              | 33.54              |

| <u>Transferência de altura elaborada GNSS</u> |                         | 1        | 2        | 3        |
|---|-------------------------|----------|----------|----------|
| Rede de coordenadas de<br>Macau               | Coordenada E (m)        | 20800.08 | 20802.10 | 24243.21 |
|   | Coordenada N (m)        | 18145.04 | 14146.39 | 10149.87 |
| ITRF2005<br>Altitude geodésica                | Altura do elipsóide (m) | 10.00    | 20.00    | 30.00    |
| Altura do nível médio do mar                  | Altura elaborada (m)    | 13.88    | 23.78    | 33.54    |

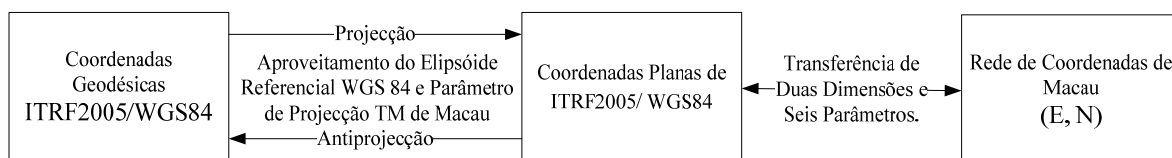


澳門特別行政區政府  
 Governo da Região Administrativa Especial de Macau  
 地圖繪製暨地籍局  
 Direcção dos Serviços de Cartografia e Cadastro

Anexo I:

Os dados de transferência do padrão fundamental geodésico e projecção cartográfica  
 A transferência de duas dimensões entre o ITRF2005/WGS84 e a rede de coordenadas de Macau.

A DSCC ligou, através do aproveitamento, em 2008, das três estações de referência de posicionamento por satélite de Macau, o sistema de coordenadas de Macau ao ITRF2005 – Enquadramento Referencial Internacional Terrestre 2005, o tempo referencial é 17 de Maio de 2008, pelas 12:00 horas (Era: 2008.37568). A relação de transferência de duas dimensões entre o ITRF2005 e a rede de coordenadas local é o seguinte:



Parâmetro de Projecção TM de Macau

| Projecção Cartográfica                                    | Projecção Mercator Transversal (TM) |
|---|-------------------------------------|
| Falsa origem das coordenadas em distância à Meridiana     | 20000.00m                           |
| Falsa origem das coordenadas em distância à Perpendicular | 20000.00m                           |
| Latitude da origem  | 22° 12' 44.6300" N                  |
| Longitude da origem                                       | 113° 32' 11.2900" E                 |
| Cotas de Datum  | Nível médio do Mar                  |
| Factor de escala  | 1                                   |

Fórmula de transferência de duas dimensões e seis parâmetros:

$$\begin{bmatrix} E_2 \\ N_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dE \\ dN \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_0 \\ N_0 \end{bmatrix} + (1+m) \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 - E_0 \\ N_1 - N_0 \end{bmatrix}$$

entre os quais, são  $dE, dN$  - o parâmetro de movimento plano,  $\alpha$  - parâmetro de rotação,  $m$  - o parâmetro de escala,  $E_0, N_0$  - o centro de rotação,  $E_1, N_1$  - as coordenadas planas verticais no sistema de coordenadas original,  $E_2, N_2$  - as coordenadas planas verticais no sistema de coordenadas a ser objectivo.

| <u>duas dimensões e seis parâmetros</u>       | De : ITRF2005/WGS84                      | De : Rede de coordenadas de Macau        |
|---|--|--|
|   | Para : Rede de coordenadas de Macau      | Para : ITRF2005/WGS84                    |
| Ponto original de Rotação                     | $E_0$ : 21995.742m<br>$N_0$ : 14829.896m | $E_0$ : 21688.365m<br>$N_0$ : 14963.270m |
| Quantidade de movimento plano em direcção a E | -307.377m                                | 307.377m                                 |
| Quantidade de movimento plano em direcção a N | 133.374m                                 | -133.374m                                |
| Quantidade de rotação                         | -1' 29.586"                              | 1' 29.586"                               |
| Factor de escala                              | -6.513 ppm                               | 6.513 ppm                                |

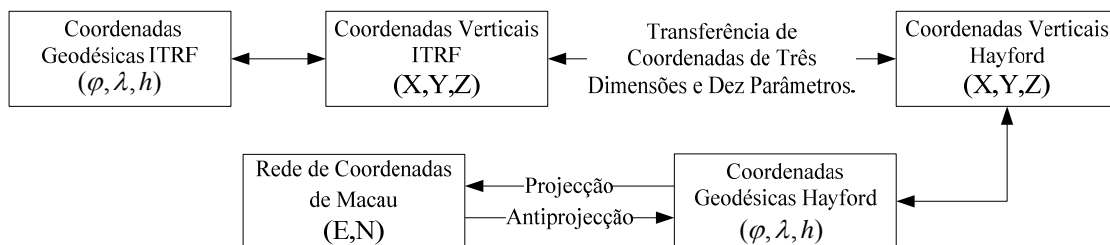




Anexo II

Os dados de transferência do padrão fundamental geodésico e projecção cartográfica  
 A transferência de três dimensões entre o ITRF2005/WGS84 e a rede de coordenadas de Macau.

A DSCC ligou através do aproveitamento, em 2008, as três estações de referência de posicionamento por satélite de Macau, o sistema de coordenadas de Macau ao ITRF2005 – Enquadramento Referencial Internacional Terrestre 2005, o tempo referencial é 17 de Maio de 2008, pelas 12:00 horas (Era: 2008.37568). A relação de transferência de três dimensões entre o ITRF2005 e a rede de coordenadas local é o seguinte:



Fórmula de transferência de três dimensões e dez parâmetros:

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} + (1 + m) \cdot R \cdot \begin{bmatrix} X_1 - X_0 \\ Y_1 - Y_0 \\ Z_1 - Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$

$$R(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \gamma & \cos \alpha \sin \gamma + \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma & \sin \alpha \sin \gamma - \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma \\ -\cos \beta \sin \gamma & \cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma & \sin \alpha \cos \gamma + \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma \\ \sin \beta & -\sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix}$$

entre os quais, os  $dX, dY, dZ$  são os parâmetros de movimento plano, e  $\alpha, \beta, \gamma$  são a quantidade de rotação do eixo de  $X, Y, Z$ ,  $m$  é o parâmetro de escala,  $X_0, Y_0, Z_0$  é o centro de rotação,  $X_1, Y_1, Z_1$  são as coordenadas espaciais verticais no sistema de coordenadas original,  $X_2, Y_2, Z_2$  são as coordenadas espaciais verticais no sistema de coordenadas a ser objectivo.



澳門特別行政區政府  
Governo da Região Administrativa Especial de Macau  
地圖繪製暨地籍局  
Direcção dos Serviços de Cartografia e Cadastro

| <u>Três dimensões e dez parâmetros</u>        | De : ITRF2005/WGS84<br>Para : Rede de Coordenadas de Macau  | De : Rede de Coordenadas de Macau<br>Para : ITRF2005/WGS84  |
|---|---|---|
| Elipsóide referencial A                       | GRS 1980  | Hayford Internacional   |
| Elipsóide referencial B                       | Hayford Internacional   | GRS 1980  |
| Modelo de transferência                       | Molodensky - Badekas  | Molodensky - Badekas  |
| Rotação do ponto original                     | X <sub>0</sub> : -2361757.652 m<br>Y <sub>0</sub> : 5417232.187 m<br>Z <sub>0</sub> : 2391453.053 m | X <sub>0</sub> : -2361554.788 m<br>Y <sub>0</sub> : 5417536.177 m<br>Z <sub>0</sub> : 2391608.926 m |
| Quantidade de movimento plano em direcção a X | 202.865 m   | -202.865 m  |
| Quantidade de movimento plano em direcção a Y | 303.990 m   | -303.990 m  |
| Quantidade de movimento plano em direcção a Z | 155.873 m   | -155.873 m  |
| Quantidade de rotação em eixo X               | 34.067"   | -34.079"  |
| Quantidade de rotação em eixo Y               | -76.126"  | 76.126"   |
| Quantidade de rotação em eixo Z               | -32.647"  | 32.660"   |
| Factor de escala                              | -6.096 ppm  | 6.096 ppm   |

| <u>Parâmetro de Projecção TM de Macau</u>                 |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Projecção Cartográfica                                    | Projecção Mercator Transversal (TM) |
| Falsa origem das coordenadas em distância à Meridiana     | 20000.00m                           |
| Falsa origem das coordenadas em distância à Perpendicular | 20000.00m                           |
| Latitude da origem  | 22° 12' 44.6300" N                  |
| Longitude da origem                                       | 113° 32' 11.2900" E                 |
| Cotas de padrão fundamental                               | Nível médio do Mar                  |
| Factor de escala  | 1                                   |



澳門特別行政區政府  
Governo da Região Administrativa Especial de Macau  
地圖繪製暨地籍局  
Direcção dos Serviços de Cartografia e Cadastro

Anexo III – A transferência de cotas de nivelamento e de WGS84

Fórmula da relação entre as cotas de nivelamento ( $H_L$ ) e de WGS84 ( $H_{WGS}$ ):

$$H_L = H_{WGS} - \text{diff} \quad \text{----- (1)}$$

Fórmula de cota elaborada de polinomial:

$$\text{diff}_i = a_1 + a_2 E_i + a_3 N_i + a_4 E_i^2 + a_5 E_i N_i + a_6 N_i^2 \quad \text{----- (2)}$$

Parâmetro elaborado, adquirido através da observação dos pontos sobrepostos:

|         |               |         |               |
|---------|---------------|---------|---------------|
| $a_1 =$ | -5.1810704571 | $a_4 =$ | -0.0000000017 |
| $a_2 =$ | 0.0001223073  | $a_5 =$ | -0.0000000007 |
| $a_3 =$ | -0.0000163659 | $a_6 =$ | 0.0000000001  |

Exemplo: realizou-se num ponto de controlo a observação de GNSS, e obtendo os dados de WGS84 sobre latitude, longitude e altura do elipsóide ( $22^\circ 11' 40.000''$  N,  $113^\circ 32' 50.000''$  E, e 10.00 m), após a projecção e transferência de duas dimensões e seis parâmetros, obtendo-se as coordenadas da rede de Macau E, N são 20800.08 m, 18145.04 m, e através da fórmula (2),  $\text{diff} = -3.88$  m; e da fórmula (1),  $H_L = 13.88$  m.